

Aus dem Institut für Zoophysiologie
der Universität Hohenheim
Vorstand: Prof. Dr. H. Hörnicke

vorgelegt über
Prof. Dr. H. Kraft
Medizinische Tierklinik der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

**Telemetrische Untersuchungen über Atemgrößen
bei Pferden mit Bronchitis und Lungenemphysem
in Ruhe und bei Belastung**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Ursula Pollmann
aus Karlsruhe

München 1986

Aus dem Institut für Zoophysiologie
der Universität Hohenheim
Vorstand: Prof. Dr. H. Hörnicke

vorgelegt über
Prof. Dr. H. Kraft
Medizinische Tierklinik der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Telemetrische Untersuchungen über Atemgrößen bei Pferden mit Bronchitis und Lungenemphysem in Ruhe und bei Belastung

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Ursula Pollmann
aus Karlsruhe

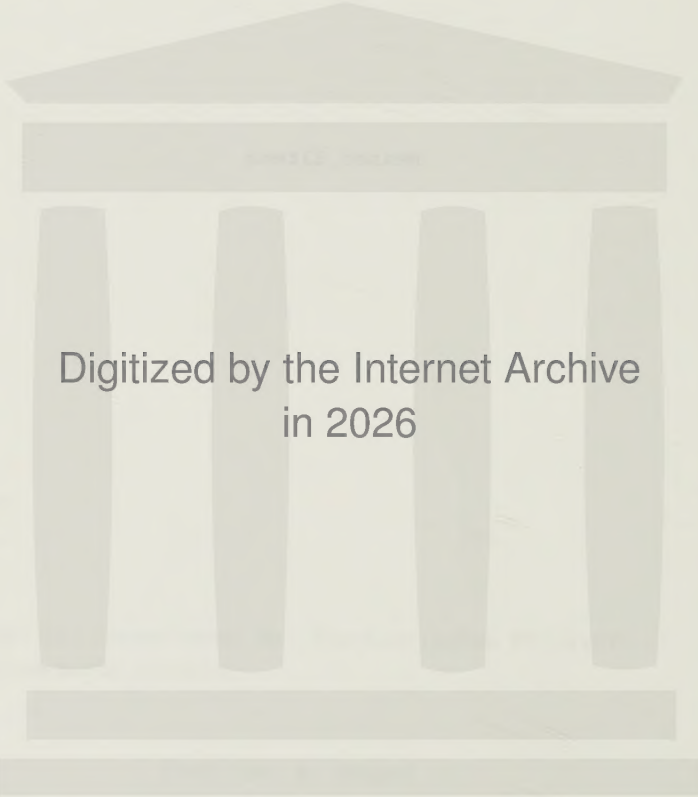
München 1986

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. H. Zucker
Referent: Prof. Dr. H. Kraft
Korreferent Priv. Doz. Dr. habil. H. Petry

Tag der Promotion: 25. Juli 1986

Meinen Eltern



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ABKÜRZUNGEN

AF	Atemfrequenz (min^{-1})
AMV	Atemminutenvolumen (l/min)
AZ	Atemzug
AZQ	Atemzeitquotient
Gal	Galopp
HF	Herzschlagfrequenz (min^{-1})
Hz	Hertz
KG	Körpergewicht
kg	Kilogramm
l	Liter
m	Meter
min	Minuten
ms	Millisekunden
PTG	Pneumotachogramm
s	Sekunden / Standardabweichung
Schr	Schritt in der aufsteigenden Belastung
Schr'	Schritt in der absteigenden Belastung
SF	Schrittfrequenz (min^{-1})
St	Stand vor Belastung (Ruhewert)
St'	Stand nach Belastung
TE	mittlere expiratorische Atemzeit (ms)
TI	mittlere inspiratorische Atemzeit (ms)
Tr	Trab in der aufsteigenden Belastung
Tr'	Trab in der absteigenden Belastung
V	Versuch
v	Geschwindigkeit (m/min)
VE	mittleres expiratorisches Atemvolumen (l)
$\dot{V}_E$	mittlere expiratorische Atemströmung (l/s)
$\dot{V}_{E_{\text{Max}}}$	mittlere expiratorische Maximalströmung (l/s)
$\dot{V}_{E_{50 \text{ bzw. } 25}}$	mittlere expiratorische Atemströmung nach 50 bzw. 25 ms Atemzeit (l/s)
VI	mittleres inspiratorisches Atemvolumen (l)
$\dot{V}_I$	mittlere inspiratorische Atemströmung (l/s)
$\dot{V}_{I_{\text{Max}}}$	mittlere inspiratorische Maximalströmung (l/s)
$\dot{V}_{I_{50 \text{ bzw. } 25}}$	mittlere inspiratorische Atemströmung nach 50 bzw. 25 ms Atemzeit (l/s)
VK	Variationskoeffizient
$\bar{x}$	Mittelwert

INHALT

	Seite
I.EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
II.LITERATUR	2
1.Nomenklatur und Differentialdiagnose chronischer Lungenerkrankungen beim Pferd	2
2.Ergebnisse ventilatorischer und pneumatographischer Untersuchungen	4
2.1 Vorteile der Pneumotachographie	4
2.1.1 Stationäre Pneumotachographie nach Fleisch	4
2.1.2 Mobile telemetrische Pneumotachographie nach Kimmich	5
2.2 Die Atemfrequenz	5
2.3 Die Atemtiefe und das Atemzeitvolumen	6
2.4 Die Atemzeiten	7
2.5 Die Atemströmung	8
2.6 Die Flow-Volumen-Schleifen	9
2.7 Die Atemformen	11
III.EIGENE MESSUNGEN	11
(A) MATERIAL UND METHODEN	11
1.Versuchstiere und klimatologische Daten	11
2.Gewinnung der Meßdaten	14
2.1 Vorbereitung der Pferde und der Meßstrecke	14
2.1.1 Messung der Fußungsfrequenz	14
2.1.2 Messung der Herzschlagfrequenz	14
2.1.3 Messung der Atemströmung (PTG)	14
2.1.4 Ermittlung der Laufgeschwindigkeit	15
2.2 Versuchsablauf	15
2.3 Aufnahme und Speicherung der Meßdaten	15
3.Auswertung der Meßdaten im Labor	16
3.1 Ermittlung von Atemfrequenz (AF), Herzschlagfrequenz (HF), Schrittfrequenz (SF) und Geschwindigkeit (v)	16
3.2 Ermittlung von Atemzeiten (TI,TE), Atemvolumina (VI,VE), Flowwerten (VI,VE) und Atemformen	16
(B) ERGEBNISSE	
1.Die Geschwindigkeit (v)	19
2.Die Frequenzen	21

2.1 Schrittfrequenz (SF) und Synchronisation	22
2.2 Herzschlagfrequenz (HF)	24
2.3 Atemfrequenz (AF)	28
3. Die Atemtiefe und das Atemzeitvolumen	31
3.1 Atemvolumen (VI)	31
3.2 Atemminutenvolumen (AMV)	33
4. Die Atemzeiten und der Atemzeitquotient	35
4.1 Atemzeiten (TI, TE)	35
4.2 Atemzeitquotient (AZQ)	35
4.3 Beziehung von Atemzeit und Atemvolumen (n.Kay et al., 1974)	42
5. Die Atemströmungen	43
5.1 Mittlere Atemströmungen ($\dot{V}_I, \dot{V}_E$)	43
5.2 Maximalströmungen ($\dot{V}_{I_{Max}}, \dot{V}_{E_{Max}}$)	43
5.3 Atemströmungen bei 50 bzw. 25 ms ($\dot{V}_{I_{50 \text{ bzw. } 25}}, \dot{V}_{E_{50 \text{ bzw. } 25}}$)	49
5.4 Abhängigkeit der Atemzeit von der Atemströmung	51
6. Die Flow-Volumen-Schleifen	52
7. Die Atemformen	55
7.1 Atemformen im Stand	56
7.2 Atemformen im Schritt	58
7.3 Atemformen im Trab	60
7.4 Atemformen im Galopp	62
7.5 Atemformen im Trab'	64
7.6 Atemformen im Schritt'	64
7.7 Vereinfachte 'Atemkurven'	67
IV. DISKUSSION	69
V. ZUSAMMENFASSUNG	82
VI. SUMMARY	83
VII. LITERATURVERZEICHNIS	84
Anhang	88

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Trotz zahlreicher Fortschritte in Diagnose und Therapie der chronischen Lungenerkrankungen beim Pferd ist diese Erkrankung immer noch eine der häufigsten Ursachen, derentwegen Pferdebesitzer den Tierarzt konsultieren müssen und derentwegen bei den Tierärzten bezüglich Schweregrad bzw. Heilungsaussichten oft kontroverse Auffassungen bestehen. Die Grundidee dieser Arbeit bestand deshalb darin, die seit Jahren am Institut für Zoophysiologie der Universität Hohenheim bei gesunden Pferden angewandten Methoden zur synchronen telemetrischen Ermittlung von Atmungsgrößen, EKG und Fußungsfrequenzen (15,16,17) auch bei lungenkranken Pferden einzusetzen. Es sollten damit Wege zu einer objektiven Diagnosestellung gesucht werden, die die bisherigen klassischen, jedoch häufig subjektiven Untersuchungsmethoden der Adspektion, Palpation, Auskultation und Perkussion ergänzen können. Diese klassischen Methoden bleiben jedoch Grundlage jeder gewissenhaften Untersuchung des Atmungsapparates.

Im folgenden wurden verschiedene Atemgrößen und Atemformen sowie die Beziehungen verschiedener Atemgrößen untereinander bei gesunden und bei lungenkranken Pferden untersucht. Dabei wurden sowohl Ruhewerte als auch Werte von einer stufenweise ansteigenden und zum Teil auch abfallenden Belastung einbezogen. Alle Belastungsstufen wurden an der Longe ausgeführt, um den Einfluß des Reiters als Variable zu vermeiden.

Folgende Fragestellungen waren von vorrangigem Interesse:

- Läßt sich die klinisch gestellte Diagnose durch die Abweichung einer oder mehrerer Atemgrößen aus dem Normbereich objektivieren?
- Kann eine Beziehung zwischen Atemform und klinischer Diagnose gefunden werden?
- Treten diagnostisch hilfreiche Abweichungen durch die Belastungsweise (auf- oder absteigend) deutlicher hervor?
- Läßt sich der Schweregrad einer Lungenerkrankung aus der Veränderung einer Atemgröße bzw. aus der Atemform erkennen?

Aus diesen Fragestellungen ergab sich aber auch das Problem, daß aus einer subjektiv gestellten Diagnose auf eine bestimmte Beziehung geschlossen wird, um daraus umgekehrt objektive Aussagen machen zu können. In keinem Fall war es bei den eigenen Versuchen

möglich, die klinische Diagnose durch den Pathologen bestätigen lassen zu können. Auch konnte wegen der Aufwendigkeit und des experimentellen Charakters der Messungen nur eine begrenzte Anzahl von Pferden untersucht werden. So blieb nur die Möglichkeit, gewisse Tendenzen aufzuweisen, die dann in weiterführenden Untersuchungen bestätigt werden müßten.

II. LITERATUR

1. Nomenklatur und Differentialdiagnose chronischer Lungenkrankungen beim Pferd

Für die chronischen Lungenkrankheiten des Pferdes bestehen im deutschen und englischen Sprachgebrauch einige gern benutzte Ausdrücke, die der Einfachheit halber häufig als Schlagworte dienen, aber letztendlich nichts über die tatsächliche Erkrankung aussagen.

So wird in deutschsprachigen Veröffentlichungen immer noch häufig von 'Dämpfigkeit' gesprochen, und vielfach mit chronisch alveolärem Lungenemphysem gleichgesetzt. Im deutschen Recht wird Dämpfigkeit aber definiert als 'Atembeschwerden aufgrund eines chronischen, unheilbaren Krankheitszustandes von Lunge und/oder Herz'. In Frankreich gilt eine ähnliche Definition für 'pousse', wobei das Herz aber nicht einbezogen ist. Demnach ist Lungendampf keine Diagnose, sondern ein Symptom, das bei verschiedenen Grundkrankheiten auftreten kann (Gerber, 1968).

Nach Lowell (1964) ist 'Heaves' eine Erkrankung des Atmungsapparates von Pferden, die durch erschwerte Atmung gekennzeichnet ist. Die Krankheit kann anfallsartig auftreten und Stunden bis Tage dauern, oder sie dauert Wochen bis Monate an. Die Ausatmung findet adspektorisch deutlich zweiphasisch statt, wobei in der zweiten, aktiven Phase Bauchwand und Flanken angehoben werden.

Breeze hat 1979 dem Problem der Krankheitsdefinition einen ganzen Artikel gewidmet: 'Heaves' oder 'Broken Wind' wurde denjenigen Pferden zugesprochen, die seit längerer Zeit an einer Lungenerkrankung mit manifester doppelschlägiger Aus-

atmung leiden. Beides seien irreführende Ausdrücke, da bei ihnen fälschlicherweise davon ausgegangen werde, daß sie das Ergebnis eines einzigen Krankheitsprozesses wären. - In den letzten 25 Jahren wurden eine Anzahl neuer Ausdrücke eingeführt, um dem Anspruch der besseren Spezifizierung gerecht zu werden. Am besten wäre die ätiologische Definition einer Erkrankung, wie z.B. 3-Methylindol-Vergiftung. Da dies jedoch meist nicht möglich ist, wird häufig auf klinische Bezeichnungen - wie z.B. Heaves -, auf anatomische Bezeichnungen - wie z.B. Emphysem - oder auf funktionelle Bezeichnungen - wie z.B. chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) - ausgewichen. Dabei darf aber nicht der Eindruck entstehen, daß diese Ausdrücke synonym gebraucht werden dürften, also austauschbar wären. - Die Diagnose 'Heaves' schließt gewöhnlich ein, daß ein Pferd eine chronische Lungenerkrankung besitzt mit einigen oder allen folgenden Anzeichen: Leistungsschwäche, chronischer Husten, Dyspnoe, doppelschlägige Ausatmung, verschärfte und/oder pfeifende Atemgeräusche bei der Auskultation. Der Begriff 'chronisch' wird in diesem Zusammenhang bei einer Dauer von mindestens sechs Monaten benutzt. - Der Ausdruck 'chronisch obstruktive Lungenerkrankung' darf nicht als abschließende Diagnose dargestellt werden, sondern soll der Ausgangspunkt einer speziellen Differentialdiagnose sein. Seit seiner Einführung durch Sasse im Jahre 1971 wurde COPD zum gern benutzten Ausdruck. Er bedeutet eine erschwerte Atemarbeit durch Einengung der Luftwege in den Lungen. Die wichtigsten Parameter zur Feststellung des Vorhandenseins von COPD sind der arterielle Sauerstoffpartialdruck (PaO_2) und die maximale intrapleurale Druckdifferenz zwischen Inspiration und Expiration (max. Ppl). Pferde mit COPD weisen einen PaO_2 kleiner 82 mmHg und einen max. Ppl größer 6 mmHg auf (gesunde Pferde haben einen PaO_2 größer 83 mmHg und einen max. Ppl kleiner 5 mmHg). - Unter die funktionelle Bezeichnung COPD fallen nach Breeze (1979) die folgenden, aufgrund von histologisch-anatomischen Veränderungen differenzierten Lungenerkrankungen:

- chronische Bronchiolitis und alveoläres Emphysem
- chronische Bronchiolitis, alveoläres Emphysem und pulmonäre Eosinophilie

- chronische Bronchiolitis, alveoläres Emphysem und destruktives Emphysem
- chronische Bronchiolitis, alveoläres Emphysem, pulmonäre Eosinophilie und destruktives Emphysem
- destruktives Emphysem ohne chronische Bronchiolitis

Solange die Erkrankungen der Lunge nicht einheitlich interpretiert und allgemein genau definierte Ausdrücke benutzt werden, bestehen nur geringe Aussichten, in der Ätiologie und Therapie dieser Krankheitsgruppe wesentliche Fortschritte zu erreichen.

2. Ergebnisse ventilatorischer und pneumotachographischer Untersuchungen

2.1 Vorteile der Pneumotachographie

Für eine genaue atmungsmechanische Diagnostik reichen die üblichen Methoden zur Messung der Lungenbelüftung (z.B. Douglassack oder Gasuhr) nicht aus. Die Pneumotachographie gibt dagegen zusätzliche Informationen über den zeitlichen Verlauf von Einatmung und Ausatmung, über die Atemströmung zu jedem Zeitpunkt und über das genaue Verhältnis von Inspirationszeit und Expirationszeit. Der Verlauf der Strömungskurven gibt Hinweise auf Atmungsstörungen bzw. Atemswiderstände.

2.1.1 Stationäre Pneumotachographie nach Fleisch

Der bereits 1925 von A. Fleisch konstruierte Pneumotachograph wurde im Prinzip bis heute beibehalten. Er beruht auf dem Poisseulle'schen Gesetz, wonach bei laminären Strömungen von Flüssigkeiten oder Gasen in engen Röhren die Durchflugeschwindigkeit der Druckabnahme pro Längeneinheit proportional ist. Der Fleisch-Pneumotachograph und seine verschiedenen Varianten erfordern eine empfindliche Differenzdruckmessung und können daher nur stationär eingesetzt werden. Daher erfolgten alle bisherigen pneumotachographischen Messungen an Pferden in Ruhe oder nach einer Arbeitsbelastung.

2.1.2 Mobile telemetrische Pneumotachographie nach Kimmich

Ein in technischer Hinsicht weit vorangeschrittenes Flowmeter wurde von Kimmich und Spaan (1980) speziell für Pferde entwickelt. Im Gegensatz zu dem empfindlichen Fleisch-Pneumotachographen ist es robust und kann auch während der Arbeit im Gelände eingesetzt werden. Dabei wird die Atemströmung anhand einer drehbar gelagerten Fahne in einem Meßrohr ermittelt. Die Lage der Fahne wird durch Magnete stabilisiert. Die Auslenkung der Fahne wird durch eine Lichtschranke gemessen. Die photoelektrisch erzeugte Spannung ist proportional dem Quadrat der Atmungsströmung. Nach Eichung mit abgestuften Strömungsgrößen läßt sich mit diesem System die Atemströmung zu jedem Zeitpunkt ermitteln.

Aus den Kurven des Pneumotachogramms können die Atemfrequenz und für jeden einzelnen Atemzug die Ein- und Ausatemzeit sowie das jeweilige Atemvolumen berechnet werden. Weiterhin können die mittleren Atemstromstärken sowie Strömungspeaks und deren Lage ermittelt werden.

2.2 Die Atemfrequenz

Die folgenden Befunde der verschiedenen Autoren über die Atemfrequenzen bei lungenkranken Pferden sind insgesamt Ruhewerte. Cook und Rosedale (1963) fanden eine Erhöhung der Atemfrequenz bei der chronischen Form des Syndroms 'Broken Wind'. Spörri und Denac (1967) beschrieben eine Zunahme der Atemfrequenz mit zunehmender Schwere des Lungenemphysems (13 AZ/min - 34 AZ/min). Gillespie et al. (1966) fanden nur unwesentliche Steigerungen der Atemfrequenz bei Pferden mit Lungenemphysem (11 AZ/min - 13 AZ/min), Sasse (1973) konnte keine Unterschiede in der Atemfrequenz bei gesunden und dämofigen Pferden feststellen (16 AZ/min). Nach Furukawa (1972) war die Atemfrequenz bei lungenkranken Ponies im Mittel höher als bei gesunden Tieren (20 AZ/min - 29 AZ/min).

In der oben genannten Literatur wird größtenteils auf eine Erklärung der gefundenen Ergebnisse verzichtet. Bei Lungenfunktionsprüfungen am Menschen konnten die Ursachen von Atemfrequenzänderungen bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen näher aufgeklärt werden:

Bradley und Crawford (1975) legten dar, daß bei restriktiven wie obstruktiven Veränderungen der Lungen des Menschen wegen des großen Widerstandes des Luftflusses große transpulmonale Drücke herrschen müssen, und daher die Inspiration früher beendet wird. Dies führe zu kleineren Volumina und einer höheren Atemfrequenz. Nach Cherniack (1971) ist die Verteilung der inspirierten Luft auf die Lungenhälften abhängig vom Produkt der Compliance ($\text{Dehnbarkeit} = \text{Volumenänderung/Druckänderung}$) der einzelnen Lungeneinheiten und dem Strömungswiderstand der zuführenden Atemwege. Bei krankhaften Veränderungen der peripheren Lungeneinheiten wird die Lungencompliance bei Erhöhung der Atemfrequenz kleiner, während sie sich beim Gesunden auch bei einer Atemfrequenzerhöhung bis auf 60 AZ/min nicht ändert. Die Frequenzabhängigkeit der Compliance beruht auf einer ungleichmäßigen Verteilung der Inspirationsluft in den Lungen. Die durch den Elastizitätsverlust resultierende Entleerungsstörung geht einher mit einer Vergrößerung der totalen Lungenskapazität und einer Verschiebung der Atemmittellage in den Bereich des inspiratorischen Reservevolumens (Bouhuys, 1977). Bezüglich der Abhängigkeit der Atemfrequenz von der Umgebungstemperatur fanden Schatzmann und Gerber 1971 für die Ruheatmung eine positive Korrelation.

2.3 Die Atemtiefe und das Atemzeitvolumen

Nach Gillespie et al. (1966) haben gesunde Pferde ein Atemvolumen von 7.3 l und Pferde mit Lungenemphysem von 5.9 l. Auch Spörri und Denac (1967) beschrieben eine Verringerung des Atemvolumens mit zunehmender Erkrankung der Lunge (leichtes Lungenemphysem 7.7 l, starkes Lungenemphysem 3.5 l). Gillespie und Tyler (1969) fanden keinen nennenswerten Unterschied der Atemvolumina gesunder und lungenkranker Pferde (6.0 l und 5.3 l). Furukawa hat 1972 nach Messungen über das Atemvolumen gesunder und lungenkranker Ponies folgende Aussage aufgestellt: das Atemvolumen pro 100 kg KG beträgt bei gesunden Ponies 1.14 l und bei kranken Tieren 0.98 l. Muylle und Oyaert haben 1973 bei gesunden Pferden ein Atemvolumen von 6.67 ± 1.62 l und bei chronisch lungenkranken Pferden von 5.96 ± 1.30 l gefunden. In der Arbeit von Sasse (1973) wird

eine Erhöhung der Atemtiefe mit zunehmender Schwere der Lungen-
erkrankung angeben. Sasse beschrieb bei gesunden Tieren ein
Atemvolumen von 5.8 l und bei Pferden mit chronisch obstruktiv-
en Lungenerkrankungen von 7.1 l. Unter Einwirkung eines Bron-
chodilatators (Ventipulmin^R, Boehringer, i.v. verabreicht)
nahm das Atemvolumen während einiger Minuten deutlich zu und
sank dann wieder auf den Ausgangswert ab (Sasse, 1980).
Nach Derksen et al. (1985) war das Atemvolumen von anästheti-
sierten Ponies mit obstruktiven Lungenerkrankungen gegenüber
Kontrolltieren sowohl bei Weidehaltung als auch bei Stall-
haltung mit Heufütterung deutlich erhöht (Weidehaltung: 2.9 l
gegenüber 1.7 l bei Kontrollgruppe). Es war bei diesen Unter-
suchungen aber auch festzustellen, daß nach Staubexposition
das Atemvolumen bei beiden Gruppen kleiner wurde (Stallhal-
tung: COPD-Gruppe 2.1 l, Kontrollgruppe 1.4 l). Bei den er-
krankten Tieren konnte der Unterschied signifikant nachgewie-
sen werden.

Menschen mit chronisch obstruktiver Bronchitis reagieren auf
Belastung meist mit einem größeren Atemvolumen als gesunde
Kontrollpersonen (Jones und Berman, 1984).

Bezüglich des Atemzeitvolumens wird in der Literatur nahezu
einstimmig eine Zunahme mit zunehmenden Veränderungen der
Lunge angegeben. Bei gesunden Pferden reichen die Werte von
89.2 l/min (Sasse, 1973) bis 190.2 l/min (Muylle, Oyaert,
1973); beim Lungenemphysem von 98.0 l/min (Spörri, Denac,
1967) bis 266.5 l/min (Muylle, Oyaert, 1973). Hier be-
schrieben allein Gillespie et al. (1966) eine leichte Ver-
ringerung des Atemzeitvolumens bei Pferden mit Lungenemphysem
(79 l/min bei gesunden Pferden, 76 l/min bei kranken Pferden).

2.4 Die Atemzeiten

In der Literatur können viel häufiger Angaben über das Ver-
hältnis von TE zu TI, also den Atemzeitquotienten (AZQ), ge-
funden werden als über die Atemzeiten als solche. Schon Bö-
decker hat 1911 das alveoläre Lungenemphysem als expiratori-
sche Dyspnoe beschrieben und einen AZQ von 1.60 angegeben.
Nahezu einstimmig wurde seither beschrieben, daß der AZQ bei
Pferden mit Lungenemphysem größer ausfällt als bei gesunden

Tieren. Im folgenden sind die Literaturangaben zum AZQ im Stand tabellarisch aufgelistet:

Autor	Jahr	AZQ gesund	AZQ lungenkrank
Bödecker	1911		1.60
Spörri, Leemann	1964		1.96 - 1.07
Gillespie et al.	1966	1.54	2.17
Spörri, Denac	1967		1.10 - 1.70
Furukawa	1972	1.09 (Pony)	1.21 (Pony)
Wetli	1972	1.00 - 1.50	
Muyllé, Oyaert	1973	1.24 $\pm$ 0.09	1.37 $\pm$ 0.3
Willoughby et al.	1979	1.27	1.37
Stadler	1983	1.13	1.24

Die Absolutwerte des AZQ fallen bei den einzelnen Autoren wahrscheinlich aus methodischen Gründen unterschiedlich aus. Die älteren Angaben stammen aus Registrierungen der Thoraxbewegungen, die zum Teil einen anderen Phasenverlauf ergeben als die Atemströmung.

Spörri und Leemann beschrieben 1964 einen Abfall (1.96 - 1.07), Spörri und Denac 1967 einen Anstieg (1.1 - 1.7) des AZQ mit zunehmender Schwere des Lungenemphysems. Spörri wies aber dann 1971 darauf hin, daß beim AZQ die Atemfrequenz berücksichtigt werden muß: mit zunehmender Atemfrequenz wird der AZQ kleiner. Spörri stellte dabei folgende Beziehung zwischen dem AZQ und der Atemfrequenz für das Pferd in Ruhe auf:

bei einer Atemfrequenz von 15 AZ/min beträgt der AZQ 1.5
 bei 15-20 AZ/min beträgt er 1.3
 bei 20 AZ/min beträgt der AZQ 1.1

Über Atemzeiten bzw. den AZQ von Pferden mit ausschließlicher Bronchitis war in der Literatur wenig zu finden. Stadler beschrieb 1983 einen AZQ von 0.99 bei latent lungenkranken Pferden.

2.5 Die Atemströmung

Alle bisherigen Untersuchungen der Atemströmung bei lungenkranken Pferden wurden in Ruhe durchgeführt.

Gillespie et al. (1966,1969) beschrieben die Atemströmung beim Lungenemphysem des Pferdes folgend: die mittlere inspiratorische Atemströmung ist signifikant höher (315 l/min) als beim gesunden Pferd (217 l/min), die mittlere expiratorische Atemströmung ist dagegen bei beiden Gruppen nahezu identisch (ca.200 l/min). Für Pferde mit Bronchitis gaben diese Autoren an, daß sowohl die inspiratorische als auch die expiratorische Strömung niedriger ausfalle als beim gesunden Pferd.

Nach Muylle und Oyaert (1973) ist die mittlere inspiratorische Atemströmung bei Pferden mit obstruktiven Lungenerkrankungen deutlich höher (267 l/min) als bei gesunden Tieren (190 l/min). Diese Autoren stellten bei der erkrankten Gruppe auch bei der mittleren expiratorischen Atemströmung höhere Werte fest als bei der Kontrollgruppe (202 l/min gegenüber 152 l/min).

Willoughby und McDonnell (1979) stellten bei ihren Lungenfunktionstests an Pferden in Ruhe fest, daß die inspiratorische Atemströmung bei an der Lunge erkrankten Pferden (Emphysem,COPD) deutlich und die expiratorische Atemströmung weniger deutlich erhöht ist. Während angestrenzter Expiration kann die expiratorische Atemströmung durch dynamische Kompression der Atemwege (= Druck des überdehnten Lungenparenchyms auf die luftabführenden, nicht bzw. wenig knorpelig versteiften Bronchiolen) auch verkleinert sein. Dabei steigt dann die Expirationsdauer an, wodurch das Verhältnis von Expiration zu Inspiration (AZQ) größer wird.

McNeill et al. beschrieben 1959 für den Menschen, daß die expiratorische Maximalströmung beim Gesunden größer ausfällt als die inspiratorische Maximalströmung. Nur bei der Entwicklung einer Atemstörung sei diese Beziehung umgekehrt und man könne dann ein Lungenemphysem erwarten.

2.5 Die Flow-Volumen-Schleifen

Beim Menschen werden Flow-Volumen-Schleifen schon seit einiger Zeit zur Diagnosestellung und Beurteilung des Behandlungserfolges bei Asthma, Bronchitis, Fibrose und Emphysem der Lunge herangezogen. Mit dieser Darstellung konnten teilweise

auch subklinische Erkrankungsstadien erkannt werden. Nach Bouhuys (1977) stellen die Maximalen Expiratorischen Flow-Volumen-Kurven eine hoch sensible, objektive und einfache Methode dar, um Obstruktionen der kleinen Luftwege beim Menschen festzustellen. Die Patienten mit obstruktiven Lungenerkrankungen haben demnach eine deutlich erhöhte Totale Lungkapazität (nur über einen Plethysmographen meß- und darstellbar), einen gegenüber dem Gesunden erniedrigten Flowpeak und einen konkav verlaufenden, abfallenden Flow-schenkel. Außerdem wird auch das Volumen des Gesunden nicht erreicht.

Nach Jones und Berman (1984) wird bei Patienten mit chronischen Atemwegsobstruktionen während der Expiration der maximale Schenkel der Flow-Volumen-Kurve bereits in Ruhe erreicht. Das bedeutet, daß bei Arbeit das Atemvolumen und der inspiratorische Flow ansteigen, der expiratorische Flow jedoch nicht über den expiratorischen Schenkel der Maximal Expiratorischen Flow-Volumen-Kurve bei Ruhe gesteigert werden kann.

Derartige Messungen am anästhetisierten Pferd wurden von Gillespie (1974) durchgeführt. Auch er konnte - ausgehend von der Totalen Lungkapazität - aufgrund einer bestimmten auferlegten Expirationskraft eine Maximal Expiratorische Flow-Volumen-Kurve produzieren. Diese Atemströmung konnte dann bei noch größerer Expirationskraft nicht überschritten werden, da mit zunehmender expiratorischer Kraftanstrengung die Atemwege aufgrund dynamischer Kompression zunehmend verengt werden und bei der Maximal Expiratorischen Flow-Volumen-Schleife der höchstmögliche Grenzwert für die Atemströmung erreicht wird. Gillespie fand mit diesen Messungen auch heraus, daß der Maximalflow volumenabhängig ist: mit zunehmendem Volumen steigt auch der Wert des Maximalflows. Damit können bei Individuen mit größeren Lungen und/oder durch Verschiebung der Atemlage in Richtung der Totalen Lungkapazität (Emphysem) höhere Maximalflows erreicht werden. Diese zeigen sich aber nur dann, wenn mit großer Kraft ausgeatmet wird. Normalerweise, d.h. beim gesunden Tier, besteht eine ausgeprägte Differenz zwischen Ruhe-Flow-Volumen-Schleife und Maximaler Flow-Volumen-Schleife. Beim Pferd mit obstruktiver Lungenerkrankung jedoch

kann diese Flowreserve je nach Erkrankungsgrad mehr oder weniger stark vermindert sein. Damit kann die Darstellung solcher Atemschleifen auch für das Pferd eine wichtige diagnostische Hilfe sein.

2.7 Die Atemformen

Bezüglich der Form des Pneumotachogramms bei Pferden, insbesondere bei lungenkranken Pferden, war in der Literatur nur wenig Material zu finden.

Gillespie und Tyler haben 1969 an Pferden in Ruhe festgestellt, daß Tiere mit Bronchitis eine quadratische Form der Expiration aufweisen, und daß an Lungenemphysem erkrankte Pferde einen dreieckigen Expirationsverlauf haben (Flowmaximum zu Beginn der Expiration).

Spörri (1971) gab an, daß nur etwa 75 Prozent der an Lungenemphysem erkrankten Pferde diesen hohen Peak zu Beginn der Expiration zeigen. Er unterschied deshalb zwei Emphysemtypen, nämlich eine Gruppe, die diesen Peak zeigt und eine zweite Gruppe ohne diese Erhöhung der Atemstromstärke zu Beginn der Expiration.

III.EIGENE MESSUNGEN

(A) MATERIAL UND METHODEN

1.Versuchstiere und klimatologische Daten

In 21 Versuchen wurden insgesamt 13 Großpferde untersucht, die in drei Gruppen eingeteilt wurden:

Gruppe I : Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung
mittleres Alter: 9 Jahre (5-13 Jahre)
mittleres Gewicht: 621 kg (540-652 kg)

Gruppe II : Pferde mit chronischer Bronchitis
mittleres Alter: 9 Jahre (5-12 Jahre)
mittleres Gewicht: 577 kg (509-632 kg)

Gruppe III: Pferde mit chronischer Bronchitis und Lungenemphysem
mittleres Alter: 13 Jahre (7-18 Jahre)
mittleres Gewicht: 575 kg (450-640 kg)

Die Pferde der Gruppe I bestanden hauptsächlich aus privat zur Verfügung gestellten Tieren, bei denen die Messungen während der laufend vom Institut für Zoophysiologie der Universität Hohenheim durchgeführten Untersuchungen gemacht wurden. Drei dieser Pferde wurden keiner speziellen klinischen Untersuchung unterzogen. Es wurde aber der Vorbericht des Besitzers auf eventuell vorausgegangene Erkrankungen berücksichtigt. Alle Pferde dieser Gruppe hatten entweder mindestens für den Zeitraum eines Jahres vor den Versuchen keine, oder überhaupt noch nie Symptome einer Lungenerkrankung gezeigt.- Das Pferd A1.1 (V 367) wurde klinisch auf Atemwegserkrankungen untersucht. Dabei konnten keine Anzeichen einer Erkrankung des Atmungsapparates gefunden werden.

Die Pferde aus den Gruppen II und III wurden in der Großtierklinik des Tierhygienischen Instituts in Freiburg klinisch untersucht. Dabei wurde neben der Adspektion, Auskultation und Perkussion auch die Endoskopie der Atemwege durchgeführt. Sämtliche Pferde der Gruppen II und III zeigten seit mindestens drei Monaten Leistungsabfall, Husten und zeitweilig mukösen Nasenausfluß (besonders nach Belastung). Bei den meisten Pferden dieser Gruppen konnte in Ruhe verstärktes Abdominalatmen, bei einigen auch Zwischenrippenatmen beobachtet werden. Auskultatorisch waren bei Gruppe II überwiegend verschärft bronchiale, bei Gruppe III meist zusätzlich verschärft vesikuläre Atemgeräusche festzustellen (teilweise erst nach Atemstimulation mit Lobelin^R, Boehringer). Mit der Perkussion wurde bei den Pferden der Gruppe III ein um mindestens vier Finger vergrößertes Lungenfeld sowie tympanischer Lungenschall über den Lungenrändern festgestellt. Endoskopisch konnten häufig in den gesamten einsehbaren Atemwegen schleimige Beläge beobachtet werden. Vielfach wurde zusätzlich eine Follikulitis im Pharynxbereich, eine Hyperämie der Trachealschleimhaut und/oder eine entzündliche Schwellung im Bereich der Bronchialaufzweigung gefunden.

2. Gewinnung der Meßdaten

2.1 Vorbereitung der Pferde und der Meßstrecke

Um Aufregung weitgehendst zu vermeiden, wurden die Pferde vor den jeweiligen Versuchen meist noch in ihren Boxen mit den benötigten Halterungen versehen. Da diese größtenteils aus den auch sonst im Reitsport üblichen Utensilien bestehen (Longiergurt, Ledergamaschen, Martingal etc.), die zweckentsprechend in Handarbeit umgestaltet wurden, war dies meist ohne Schwierigkeiten möglich.

2.1.1 Messung der Fußungsfrequenz

Hierzu wurde ein Philips-Accelerator (Typ PR 9367/07) in einer Ledergamasche am linken Vorderbein befestigt. Die zugehörige Gleichstrom-Meßbrücke und die Stromversorgung (beides Eigenbau, G.Tolk-mitt) wurde in einer speziell dafür angefertigten Tasche am Longiergurt untergebracht.

2.1.2 Messung der Herzschlagfrequenz

Hierzu wurden Halterungsplatten aus Hartplastik (Eigenbau) mittels Silikonkleber (Wacker-Chemie) an Stirn und kaudalem Brustbeinabschnitt befestigt. An diesen konnten dann die Elektroden (Eigenbau, Prof.Ehrlein) angebracht werden, deren Ableitungskabel wieder zu dem entsprechenden Verstärker am Longiergurt führten.

2.1.3 Messung der Atemströmung (PTG)

Hierzu wurde ein von Kimmich (1980) speziell entwickeltes Meßrohr verwendet. Dieses Meßrohr besteht aus einer Hartplastikröhre, in die von oben her ein Meßblock mit Meßfahne hineinragt. Mittels zweier Klappen kann die freie Öffnung der Röhre verkleinert werden, sodaß auch bei geringer Strömung ein ausreichend großes Meßsignal entsteht. Dieses Meßrohr wurde in den Technischen Werken Stuttgart an einem Trommel- bzw. Drehkolbenzähler geeicht.

Um das Meßrohr am Pferd in die richtige Position zu bringen und zudem einen dichten Abschluß am Pferdekopf zu erhalten, mußte es an einer Fiberglasmaske (Eigenbau) befestigt werden. Der Masken-Meßrohr-Komplex konnte dann mittels vier Schnallen schnell an dem zuvor dem Pferd angelegten Maskenhalter (Eigenbau) mit eingearbeiteter Wassertrense angebracht werden. Auch hier führte vom Meßkopf aus ein Kabel über Kopf und Hals (Mähne) zum Longiergurt.

Ein derartig bestücktes Pferd kann völlig normal geritten oder - wie in diesem Fall - longiert werden. Die Mehrzahl unserer Ver-

suchstiere zeigte sich durch die angelegten Meßinstrumente nicht sonderlich irritiert.

2.1.4 Ermittlung der Laufgeschwindigkeit

Hierzu wurden mit einem Handmarkenschalter (Eigenbau, G.Tolkmitt) bei jedem Durchlaufen eines bestimmten Punktes des Zirkels Marken gesetzt und synchron auf Band abgespeichert. Der Umfang des Zirkels wurde nach jedem Versuch mit einem Meßrad neu ausgemessen.

2.2 Versuchsablauf

Alle Pferde wurden auf Sandplätzen an der Longe untersucht. Der mittlere Radius der jeweiligen Zirkel betrug 8 m. Es wurde angestrebt, folgende Zeiten für die Ruhe (Stand) bzw. die verschiedenen Gangarten in allen Versuchen einzuhalten:

a) nur aufsteigende Belastung ohne Handwechsel, anschließend Stand

- 5 Min Stand
- 5 Min Schritt
- 5 Min Trab
- 5 Min Galopp
- 5 Min Stand' (Erholung)

b) auf- und absteigende Belastung mit Handwechsel

- 5 Min Stand
- 5 Min Schritt - linke Hand
- 3 Min Trab - linke Hand
- Handwechsel
- 3 Min Trab - rechte Hand
- 3 Min Galopp - rechte Hand
- Handwechsel
- 3 Min Galopp - linke Hand
- 3 Min Trab'- linke Hand
- Handwechsel
- 3 Min Trab'- rechte Hand
- 5 Min Schritt'- rechte Hand
- 5 Min Stand'

wurde bei einigen
Pferden aus den Gr.II u.III
nicht gefordert

2.3 Aufnahme und Speicherung der Meßdaten

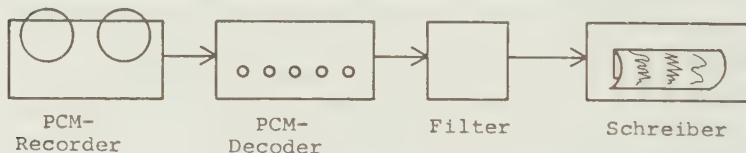
Sämtliche Meßdaten wurden über den am Longierquert befestigten Sender auf die Empfangsanlage in einem Meßwagen am Rande des Sandplatzes übermittelt. Hier gelangten sie in den Modulator (Glonner, PCM-16-Decoder) und wurden anschließend auf Magnet-

band abgespeichert (Glonner, PCM-Recorder, PMT). Über eine sogenannte Hinterbandkontrolle konnten alle aufgenommenen Signale synchron auf Oscillographen dargestellt werden, sodaß eine laufende Überwachung der ankommenden Signale während des Versuches möglich war.

3. Auswertung der Meßdaten im Labor

3.1 Ermittlung von Atemfrequenz (AF), Herzschlagfrequenz (HF), Schrittfrequenz (SF) und Geschwindigkeit (v)

Hierzu wurden die auf Band gespeicherten Daten nach ihrer Demodulation über den PCM-Decoder (Glonner) und nach dem Durchlaufen eines 15-Hz-Filters (Eigenbau, G.Tolkmitt) synchron auf einem Hellige-6-Kanal-Schreiber ausgeschrieben.



Anschließend wurden dann jeweils immer 30-Sekunden-Abschnitte ausgezählt und auf die Zeiteinheit eine Minute bezogen. Zu jedem 30-Sekunden-Abschnitt wurde aus Markenabstand und Rundenumfang auch die jeweilige Geschwindigkeit berechnet.

3.2 Ermittlung von Atemzeiten (TI,TE), Atemvolumina (VI,VE), Flowwerten (VI,VE) und Atemformen

Für die Auswertung wurde ein Programm entwickelt (H.Fleischmann), das in Kürze geschildert folgendermaßen arbeitet:

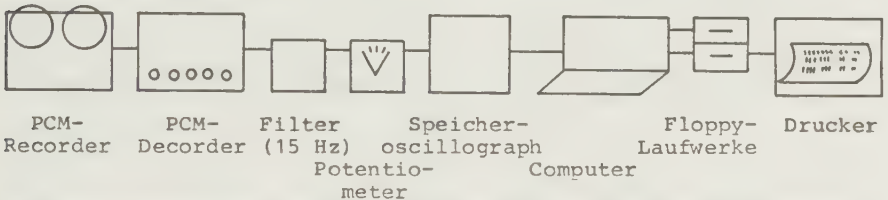
Die auf Band gespeicherten Daten wurden nach ihrer Demodulation im PCM-Decoder in einen Gould-Speicheroscillographen eingespielt. Dabei war zu beachten, daß die Null-Lage der Atemkurven genau auf dem Nulldurchgang des Speicheroscillographen lagen. Dies konnte über ein Potentiometer (Eigenbau, G.Tolkmitt) eingestellt werden. Da das Verhältnis VE/VI dadurch von der jeweiligen Potentiometer-einstellung abhängig wurde, konnte es in dieser Arbeit nicht zu Beurteilungen herangezogen werden.

Der ausgewählte Abschnitt (mind. 7 Atemzüge) wurde in einen Apple-Computer eingelesen. Darauf beginnt die Umrechnung der mV -Werte in l/sec (nach Eichwerten), die Auftrennung in Inspiration und Expiration (Nulldurchgänge) und die Abspeicherung der Halbatem-

züge auf Disketten. Weiterhin wurden abgespeichert:

- die Anzahl der Meßpunkte, aus denen der Halbatemzug besteht (max. 100)
- die Dauer des Halbatemzugs in ms
- das Volumen des Halbatemzugs in l (über Flächenberechnung ermittelt)
- die Klappenstellung des Meßrohres
- die Nummer des verrechneten Atemzuges

Damit war jeder (Halb)atemzug vollständig beschrieben und konnte bei Bedarf (z.B. zum Plotten) bzw. für weitere Berechnungen (Statistik, Flow-Volumen-Schleifen etc.) einzeln oder zu mehreren abgerufen werden.



Für die Beurteilung auf pathologische Atemgrößen wurden folgende Werte herangezogen:

- $\dot{V}_I$ und $\dot{V}_E$
- $\dot{V}_I$ und $\dot{V}_E$ sowie das Verhältnis $\dot{V}_E/\dot{V}_I$ (AZQ)
- $\dot{V}_I$ und $\dot{V}_E$ sowie das Verhältnis $\dot{V}_I/\dot{V}_E$
- $\dot{V}_{I_{Max}}$ und $\dot{V}_{E_{Max}}$
- $\dot{V}_I$ nach 50 ms (Stand und Schritt) bzw. nach 25 ms (Trab und Galopp)
- $\dot{V}_E$ nach 50 ms (Stand und Schritt) bzw. nach 25 ms (Trab und Galopp)

Zur Veranschaulichung der Gewinnung dieser Atemgrößen siehe Abb.1

In Tabelle 2 ist die Anzahl der ausgewerteten Atemzüge für die einzelnen Versuche bzw. Gangarten aufgelistet. Für die Auswertung wurden jeweils Atemzüge aus den letzten 1-2 Minuten der jeweiligen Gangart herangezogen (Steady-State). Alle Werte in den nachfolgenden Tabellen unter dem Abschnitt 'Ergebnisse' stellen Mittelwerte dar.

TAB 2 Anzahl der ausgewerteten Atemzüge (n)

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	29	112	89	112	-	-
	A1.2	373	25	91	113	108	-	-
		375	20	27	63	111	-	-
	A1.3	377	34	83	110	114	-	-
		380	45	101	113	117	117	110
	A1.4	378	49	111	108	116	110	98
		382	36	49	99	115	112	68
	ges.		238	574	695	793	339	276
Gr II	B1.1	370	21	74	110	111	-	-
	B1.2	390	29	60	104	-	-	116
		394	37	39	63	-	-	87
	B1.3	391	34	92	113	-	-	113
	B1.4	435	47	85	112	69	112	59
		437	62	115	105	-	-	-
	B1.5	392	58	83	95	-	-	91
	ges.		288	548	702	180	112	466
Gr III	C1.1	387	34	60	99	93	110	94
		393	29	41	106	112	115	85
	C1.2	388	27	61	90	-	-	100
		389	29	86	108	-	-	-
	C1.3	381	37	93	104	79	116	113
		399	27	83	108	105	107	108
	C1.4	436	69	104	99	-	-	115
	ges.		252	528	714	389	448	615

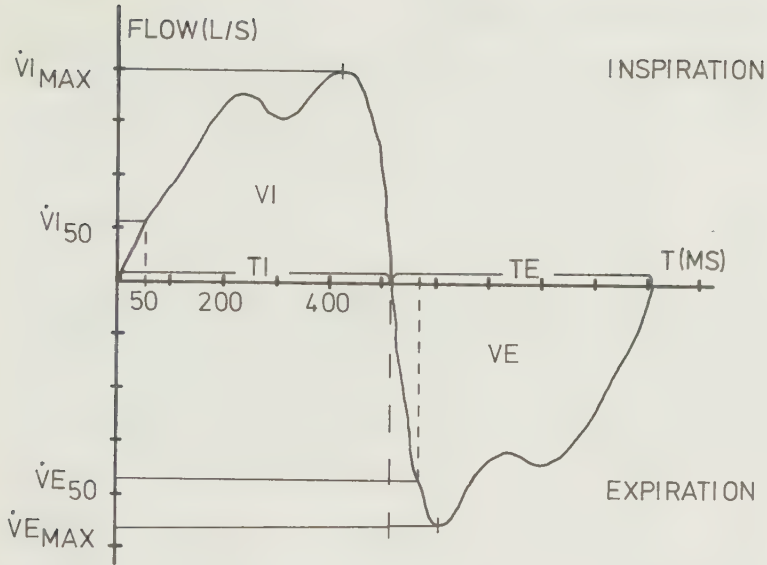


Abb.1: Schematische Darstellung der aus dem Pneumotachogramm gewonnenen Atemgrößen

(B) ERGEBNISSE

1. Die Geschwindigkeit (v)

Als Maß für die Belastung der Versuchstiere und zum Vergleich der Gruppen hinsichtlich der geforderten Leistung untereinander ist die gelaufene Geschwindigkeit eine gut geeignete Größe. In Tabelle 3 sind die entsprechenden Werte aufgelistet.

Hinsichtlich der Statistik waren signifikante Unterschiede (*) nur zwischen den Gruppen I und III im Schritt und Schritt' festzustellen. Die Signifikanz wurde hier wie auch in allen folgenden Abschnitten nach STUDENT berechnet (t-Verteilung). Es wurde nach folgender Formel gerechnet:

$$t = \frac{\bar{x} - u}{s / \sqrt{n}}$$

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel der Stichprobe

u = arithmetisches Mittel der Grundgesamtheit

s = Standardabweichung der Stichprobe

n = Stichprobenumfang

TAB 3 Geschwindigkeiten (m/min)

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	O	78.0	222.0	347.0	-	-
	A1.2	373	O	89.0	184.0	286.0	-	-
		375	O	96.0	245.5	301.0	-	-
	A1.3	377	O	105.0	257.0	324.5	-	-
		380	O	82.0	258.0	349.5	244.0	74.0
	A1.4	378	O	92.5	228.5	313.0	229.0	73.5
		382	O	76.5	240.0	349.5	234.0	76.0
	$\bar{x}$		O	88.4	233.6	324.4	235.7	74.5
	s			10.3	25.7	25.6	7.6	1.3
	VK			11.7	11.0	7.9	3.2	1.8
Gr II	B1.1	370	O	98.0	198.0	275.5	-	-
	B1.2	390	O	87.0	236.0	-	-	70.5
		394	O	81.0	220.0	-	-	101.0
	B1.3	391	O	76.5	241.0	-	-	107.5
	B1.4	435	O	70.5	203.0	333.0	184.5	79.0
		437	O	75.5	188.5	-	-	-
	B1.5	392	O	74.5	223.0	-	-	71.5
	$\bar{x}$		O	80.4	215.6	304.3	184.5	85.9
	s			9.4	19.7	-	-	17.2
	VK			11.6	9.2	-	-	20.1
Gr III	C1.1	387	O	75.0	267.0	338.0	235.0	110.0
		393	O	77.0	283.5	322.0	261.0	108.0
	C1.2	388	O	81.5	176.0	-	-	96.0
		389	O	71.5	178.5	-	-	-
	C1.3	381	O	70.0	164.0	283.0	154.0	77.0
		399	O	81.0	199.0	272.0	163.0	84.0
	C1.4	436	O	92.5	254.0	-	-	102.0
	$\bar{x}$		O	78.4	217.4	303.8	203.3	96.2
	s			7.6	49.3	31.3	52.9	13.3
	VK			9.7	22.7	10.3	26.0	13.8
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			-	n.s.	n.s.	-	-	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			-	*	n.s.	n.s.	n.s.	*
$\bar{x}$ Gr II: $\bar{x}$ Gr III			-	n.s.	n.s.	n.s.	-	n.s.

VK = Variationskoeffizient

Für den sogenannten Freiheitsgrad (FG) wurde $n-1$ angenommen.

Es bedeuten:

$P > 0.05$	n.s.
$0.05 > P > 0.01$	*
$0.01 > P > 0.001$	**
$0.001 > P$	***

2. Die Frequenzen

Um den Verlauf von Herzschlagfrequenz, Atemfrequenz und Schritt-
frequenz während der jeweiligen Versuche kontinuierlich und zeit-
getreu beurteilen zu können, wurden alle 30-Sekunden-Werte hinter-
einander aufgetragen. Hierbei ließen sich auch Steady-State-Pla-
teaus deutlich erkennen (Abb.2). Diese wurden meist nach etwa
1.5 bis 2 Minuten erreicht.

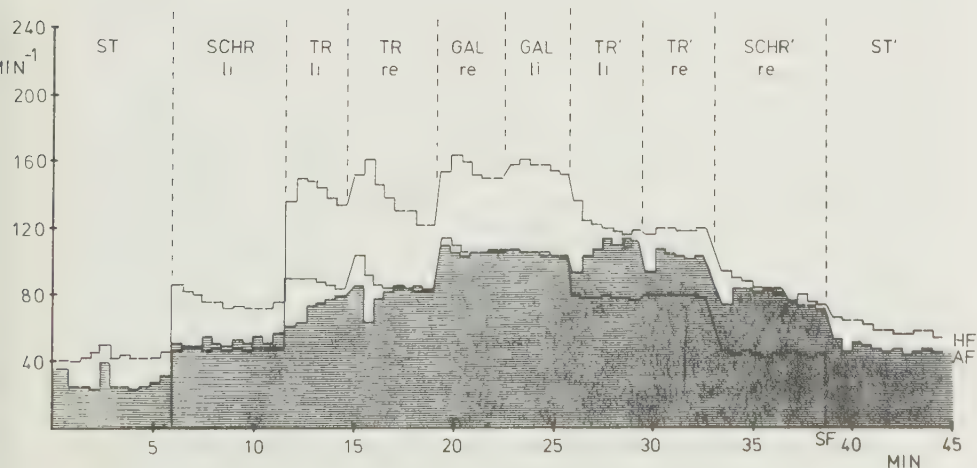


Abb.2: Kontinuierliche Registrierung von Herzschlagfrequenz (HF),
Atemfrequenz (AF) und Schritt-
frequenz (SF) während eines
Versuchsdurchlaufs (V 380)

2.1 Schrittfrequenz (SF) und Synchronisation

Die Steady-State-Plateaus waren bei der Schrittfrequenz am deutlichsten ausgeprägt. Die meisten Pferde durchliefen alle Gangarten in einer sehr hohen Gleichmäßigkeit. Einige Pferde hatten sogar in verschiedenen Versuchen bei der gleichen Gangart im Mittel exakt dieselbe Schrittfrequenz (siehe TAB 4, z.B. Pferd A1.4 in V 378 und V 382 im Trab eine SF von 78). Die Unterschiede der Schrittfrequenzen sowohl innerhalb der drei Gruppen wie auch insgesamt waren erstaunlich gering. Der höchste Variationskoeffizient betrug 8.8 im Schritt bei Gruppe III. Mit zunehmender Belastung wurden die Variationskoeffizienten allgemein kleiner (bis 1.5 im Galopp bei Gruppe I). Nur im Schritt gab es ebenso wie bei der Geschwindigkeit signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen I und III.

Von den nachfolgenden Ausnahmen abgesehen, lag die Schrittfrequenz in allen Gangarten und bei allen drei Gruppen zwischen den Werten der Herzschlagfrequenz (höchster Wert) und denen der Atemfrequenz. Ausnahmen: (1) im Falle der 1:1-Synchronisation von Atemfrequenz und Schrittfrequenz (bei allen drei Gruppen teilweise im Galopp, häufig im Trab nach dem Galopp, s.u.) - (2) in etwa der Hälfte der Versuche mit den Tieren aus Gruppe I war im Schritt die Atemfrequenz höher als die Schrittfrequenz.

Synchronisiert wurde nur im Trab und im Galopp, wobei im Trab nach dem Galopp regelmäßiger synchronisiert wurde als im Trab vor dem Galopp. Im Galopp wurde meistens 1:1 synchronisiert (Atmungsfrequenz:Fußungsfrequenz), bei den Pferden aus Gruppe I auch immer wieder 1:2- im Wechsel mit der 1:1-Synchronisation. Im Trab vor dem Galopp konnte man häufig und bei allen drei Gruppen neben einer oft unsauberen 1:1-Synchronisation auch eine sehr regelmäßige 1:1.5-Synchronisation feststellen (Abb.3). Im Trab nach dem Galopp wurde im Falle einer Abhängigkeit von Atmung und Fußung immer 1:1 synchronisiert.

Bei allen diesen Untersuchungen ließ sich deutlich zeigen, daß der größte Teil der Einschnitte in den Atrungskurven (PTG) die Folge von Gliedmaßenbewegungen sind (siehe v.a. bei 1:1.5-Synchronisation in Abb.3) und daß daher Vorsicht geboten ist, wenn in der Atemform pathologische Grundlagen gesucht werden.

TAB 4 Schrittfrequenzen (min⁻¹)

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	0	49.5	79.0	104.5	-	-
	A1.2	373	0	53.5	79.5	102.5	-	-
		375	0	52.5	89.0	102.0	-	-
	A1.3	377	0	49.0	81.5	106.0	-	-
		380	0	45.5	81.0	102.5	77.5	42.0
	A1.4	378	0	50.5	78.0	103.0	78.5	44.0
		382	0	44.5	78.0	101.5	77.0	43.5
	$\bar{x}$		0	49.3	80.9	103.1	77.7	43.2
	s			3.3	3.8	1.6	0.8	1.0
	VK			6.8	4.8	1.5	1.0	2.4
Gr II	B1.1	370	0	49.5	81.0	105.0	-	-
	B1.2	390	0	49.0	81.5	-	-	-
		394	0	47.0	78.5	-	-	51.0
	B1.3	391	0	-	-	-	-	-
	B1.4	435	0	42.5	78.0	104.0	78.0	-
		437	0	-	-	-	-	-
	B1.5	392	0	44.0	81.5	-	-	46.0
	$\bar{x}$		0	46.4	80.1	104.5	78.0	48.5
	s			3.1	1.7	-	-	-
	VK			6.6	2.1	-	-	-
Gr III	C1.1	387	0	-	80.0	-	76.5	49.5
		393	0	44.0	83.0	101.5	81.0	49.0
	C1.2	388	0	49.5	-	-	-	-
		389	0	46.0	75.5	-	-	-
	C1.3	381	0	40.5	73.5	98.5	73.0	47.0
		399	0	46.0	81.0	99.0	76.0	50.5
	C1.4	436	0	52.0	87.0	-	-	56.0
	$\bar{x}$		0	46.3	80.0	99.7	76.6	50.4
	s			4.1	4.9	1.6	3.3	3.4
	VK			8.8	6.2	1.6	4.3	6.7
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			-	n.s.	n.s.	-	-	-
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			-	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
$\bar{x}$ Gr II: $\bar{x}$ Gr III			-	n.s.	n.s.	-	-	n.s.

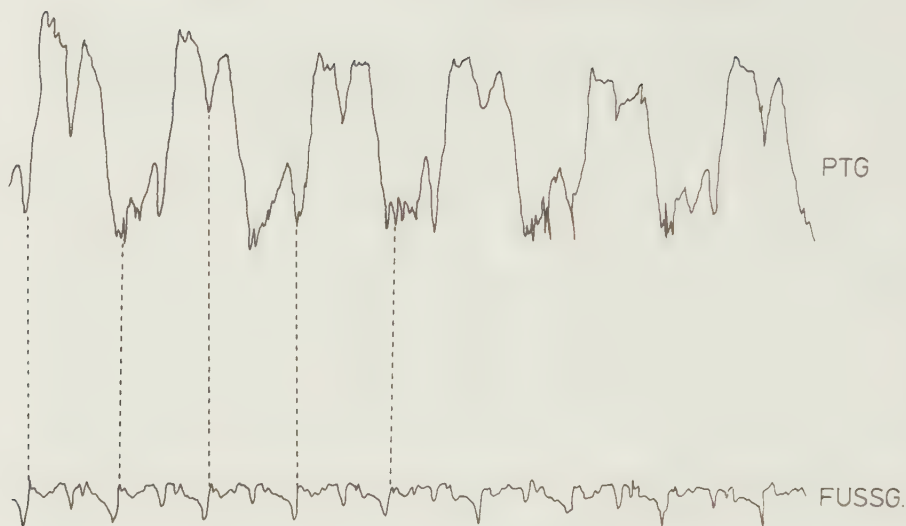


Abb.3: Originalkopien von Pneumotachogramm (PTG) und synchron dazu registrierter Fußung im Trab (V 393) als Beispiel einer 1:1.5-Synchronisation

2.2 Herzschlagfrequenz (HF)

Bei der Herzschlagfrequenz zeigte sich während aufsteigender Belastung häufig das oft beschriebene Überschießen zu Beginn einer neuen Gangart und darauf folgend das mehr oder weniger deutliche Einpendeln auf ein Plateau. Bei absteigender Belastung fiel der HF-Wert beim Gangartwechsel zunächst schnell, darauf langsam ab. Meist wurde auch hier ein Plateau erreicht, das jedoch höher lag als bei derselben Gangart in der aufsteigenden Belastung (entsprechendes gilt für die Atemfrequenz). Die durchschnittliche Herzschlagfrequenz lag in allen Gangarten bei den Pferden der Gruppe III höher als bei den Pferden der Gruppe I (Frequenzen pro Minute: Gr I: St 39 - Gal 153, Gr III: St 47 - Gal 157). Signifikante Unterschiede waren nur im Stand und Schritt festzustellen. Im Schritt bestanden aber auch signifikante Unterschiede in der Geschwindigkeit.

Die Pferde der Gruppe II lagen mit der HF meist zwischen den Gruppen I und III, nur im Galopp und Trab' lagen sie höher als Gruppe III und im Stand' niedriger als Gruppe I (Tabelle 5). Allerdings muß bemerkt werden, daß im Galopp und Trab' für Gruppe II nur Werte von zwei bzw. einem Pferd vorlagen und dadurch die Aussagemöglichkeit auch für Tendenzen nur begrenzt war. Bezüglich der Streuung waren die Werte des Variationskoeffizienten im Stand und Stand' am höchsten (VK bis maximal 27.4 im Stand bei Gruppe I und bis 22.5 im Stand' bei Gruppe II).

In Anlehnung an den Stufentest nach Ehrlein (8) wurden auch bei diesen Versuchen die Herzschlagfrequenzen gegen die gelaufenen Geschwindigkeiten aufgetragen und zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit bzw. der Kondition die Steigung der resultierenden Geraden (B(1)) sowie deren Achsenabschnitt (B(0)) berechnet (Tabelle 6). Der durchschnittliche Wert für den Achsenabschnitt war bei den Pferden aus Gruppe I am geringsten und bei den Pferden aus Gruppe III am höchsten (signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen I und III). In der durchschnittlichen Steigung der Geraden unterschieden sich die Gruppen I, II und III nicht. Lediglich ein Pferd der Gruppe III (C1.2) hatte eine deutlich höhere Steigung. (Abb. 4)

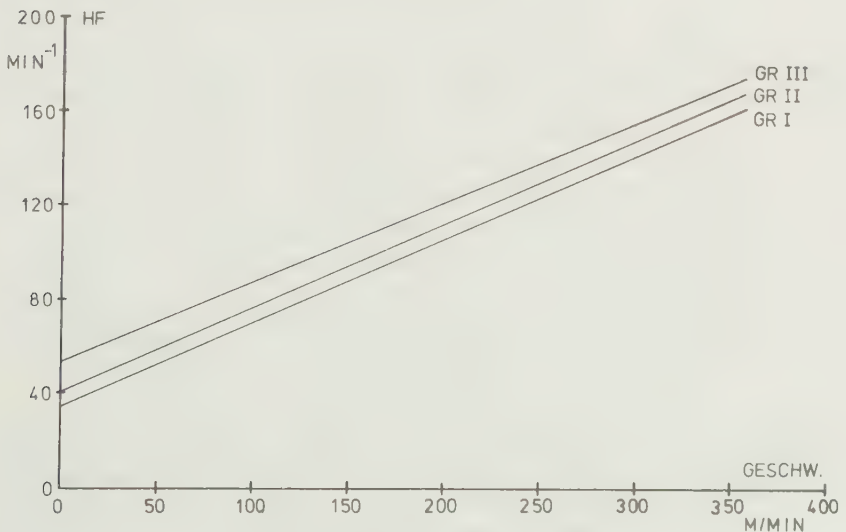


Abb. 4: Abhängigkeit der Herzschlagfrequenz (HF) von der gelaufenen Geschwindigkeit bei den einzelnen Gruppen zur Beurteilung des Trainingszustandes

TAB 5 Herzschlagfrequenzen (min^{-1})

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'	St'
Gr I	A1.1	367	61.5	81.0	112.0	188.0	-	-	80.0
	A1.2	373	29.5	61.5	89.5	125.0	-	-	62.0
		375	31.0	64.5	104.0	121.5	-	-	44.0
	A1.3	377	39.0	75.0	122.0	163.0	-	-	72.0
		380	41.0	71.0	124.0	153.5	117.0	75.0	52.0
	A1.4	378	36.5	73.0	115.0	160.0	130.0	76.0	54.0
		382	34.5	56.5	112.0	161.0	114.0	76.0	56.0
	$\bar{x}$		39.0	68.9	111.2	153.1	120.3	75.7	60.0
	s		10.7	8.5	11.7	23.2	8.5	0.6	12.4
	VK		27.4	12.3	10.5	15.2	7.1	0.8	20.7
Gr II	B1.1	370	41.5	81.0	120.5	148.5	-	-	72.0
	B1.2	390	40.0	83.5	123.0	-	-	87.0	-
		394	42.0	77.0	109.5	-	-	82.0	52.0
	B1.3	391	39.5	69.0	114.5	-	-	82.0	48.0
	B1.4	435	43.5	68.0	113.5	178.0	131.0	97.0	-
		437	40.5	71.5	-	-	-	-	-
	B1.5	392	31.5	48.0	100.0	-	-	65.0	-
	$\bar{x}$		39.8	71.1	113.5	163.3	131.0	82.6	57.3
	s		3.9	11.8	8.2	-	-	11.6	12.9
	VK		9.8	16.6	7.2	-	-	14.0	22.5
Gr III	C1.1	387	54.5	96.0	143.5	176.0	132.0	99.5	76.0
		393	56.0	73.5	132.0	163.5	126.0	89.0	64.0
	C1.2	388	40.5	81.0	156.0	-	-	106.0	-
		389	44.0	67.0	159.5	-	-	-	57.0
	C1.3	381	45.5	63.0	102.0	148.0	113.0	90.5	66.0
		399	45.5	73.0	112.0	141.0	110.5	88.5	70.0
	C1.4	436	45.0	54.0	105.0	-	-	69.0	42.0
	$\bar{x}$		47.3	72.5	130.0	157.1	120.4	90.4	62.5
	s		5.7	13.5	24.0	15.7	10.3	12.6	11.9
	VK		12.1	18.6	18.5	10.0	8.6	13.9	19.0
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'	St'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II		n.s.	n.s.	n.s.	-	-	n.s.	n.s.	
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III		**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	
$\bar{x}$ Gr II: $\bar{x}$ Gr III		*	n.s.	n.s.	-	-	n.s.	n.s.	

TAB 6 Stufentest n. Ehrlein

	Pferd	V	n	B(0)	B(1)	r	Streug.
Gr I	A1.1	367	35	47.6	0.38	0.977	11.5
	A1.2	373	43	30.1	0.35	0.996	3.8
		375	30	33.6	0.32	0.997	2.8
	A1.3	377	29	38.5	0.36	0.989	7.1
		380	36	43.9	0.32	0.997	3.8
	A1.4	378	33	35.6	0.38	0.996	4.2
		382	34	31.6	0.36	0.996	4.7
	$\bar{x}$			37.3	0.35		
	s			6.5	0.02		
	VK			17.4	5.7		
Gr II	B1.1	370	35	43.3	0.38	0.997	3.1
	B1.2	390	29	52.2	0.34	0.977	8.2
		394	31	45.5	0.31	0.961	7.6
	B1.3	391	27	43.5	0.29	0.988	4.7
	B1.4	435	28	30.4	0.30	0.986	3.9
		437	27	39.4	0.40	0.984	8.1
	B1.5	392	32	38.9	0.41	0.995	3.3
	$\bar{x}$			41.9	0.35		
	s			6.7	0.05		
	VK			16.0	14.3		
Gr III	C1.1	387	36	54.7	0.35	0.988	7.9
		393	39	55.6	0.31	0.988	7.2
	C1.2	388	21	43.2	0.65	0.972	12.5
		389	24	37.1	0.65	0.972	11.8
	C1.3	381	34	41.8	0.36	0.994	3.7
		399	35	45.5	0.33	0.991	4.5
	C1.4	436	31	40.8	0.25	0.973	7.0
	$\bar{x}$			45.5	0.41		
	s			7.1	0.16		
	VK			15.5	39.0		
Streuung				B(0)	B(1)		
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II				n.s.	n.s.		
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III				*	n.s.		
$\bar{x}$ Gr II : $\bar{x}$ Gr III				n.s.	n.s.		

2.3 Atemfrequenz (AF)

Die Atemfrequenz stellte sich als eine sehr variable Größe dar, die sowohl innerhalb einer Gangart eines Pferdes, als auch im Vergleich einer Gangart bei verschiedenen Pferden einer Gruppe meist sehr große Unterschiede aufwies (siehe Tabelle 7, die St'-Werte sind 30-Sekunden-Werte 5 Minuten nach Belastungsende). Erwartungsgemäß schwankte die Atemfrequenz im Stand und in den Gangarten ohne Synchronisation mit der Fußungsfrequenz am stärksten (VK bis 65.5 im St' bei Gruppe I). In fast allen Gangarten hatten die Pferde der Gruppen II und III niedrigere Variationskoeffizienten als die Pferde der Gruppe I. Es wurde versucht, die starken Differenzen im Stand' durch die Umrechnung in den prozentualen Anteil von der vorhergehenden Belastungsstufe zu mindern (in Tabelle 7 als Spalte St' (%)). Dies gelang nur in den Gruppen I und III.

Weiterhin war auffallend, daß die durchschnittliche Atemfrequenz bei den Pferden der Gruppe III in allen Gangarten außer Stand (Gr III: St 22.5 AZ/min - Gal 83.6 AZ/min) und bei den Pferden der Gruppe II in allen Gangarten außer Stand und Galopp (Gr II: St 21.9 AZ/min - Gal 100.8 AZ/min) niedriger waren als bei den Pferden der Gruppe I (Gr I: St 21.7 AZ/min - Gal 94.9 AZ/min). Statistisch abgesicherte Unterschiede waren nur im Trab und Stand' festzustellen. - Dieses Bild änderte sich auch dann nur geringfügig, wenn das Pferd A1.1 (V 367) mit sehr hohen Atemfrequenzen nicht in die Berechnung mit aufgenommen wurde (Gr I ohne V 367: St 18.8 AZ/min - Gal 93.4 AZ/min).

Da in der Literatur (26) eine Abhängigkeit von Atemfrequenz und Umgebungstemperatur angegeben wird, wurde auch dieser Zusammenhang bei den eigenen Messungen im Stand, Schritt und Trab untersucht. Bei der Zusammenfassung aller drei Gruppen ergab sich eine positive Korrelation von $r = 0.585$ (*) im Stand, von

$r = 0.727$ (**) im Schritt und von

$r = 0.546$ (*) im Trab (Abb.5).

Im Stand würde sich demnach die AF pro $^{\circ}\text{C}$ um 1.2 AZ ändern, im Schritt um 2.5 AZ und im Trab um 1.9 AZ (MW: 1.9 AZ/ $^{\circ}\text{C}$). Da die Umgebungstemperatur bei den Versuchen der Gruppe III im Mittel signifikant (*) niedriger war als bei den Versuchen der Gruppen I und II ($\bar{T}$ Gr I: 17.4°C , Gr II: 18.4°C , Gr III: 14.0°C), wurden die mittleren Atemfrequenzen der Gruppen II und III auf

die Umgebungstemperatur der Gruppe I umgerechnet. Dies ergab
im Stand für Gruppe II eine AF von 20.0 AZ/min,
für Gruppe III eine AF von 28.5 AZ/min
(Gruppe I hatte eine AF von 21.7 AZ/min);
im Schritt für Gruppe II eine AF von 39.7 AZ/min,
für Gruppe III eine AF von 46.4 AZ/min
(Gruppe I hatte eine AF von 49.2 AZ/min); und
im Trab für Gruppe II eine AF von 69.6 AZ/min,
für Gruppe III eine AF von 66.9 AZ/min
(Gruppe I hatte eine AF von 73.9 AZ/min).

Durch die Berücksichtigung der Umgebungstemperatur wurden zwar
die Differenzen zwischen den drei Gruppen gemindert, jedoch die
Tendenz zu höheren Werten bei den gesunden und niedrigeren Werten
bei den lungenkranken Pferden blieb bestehen.

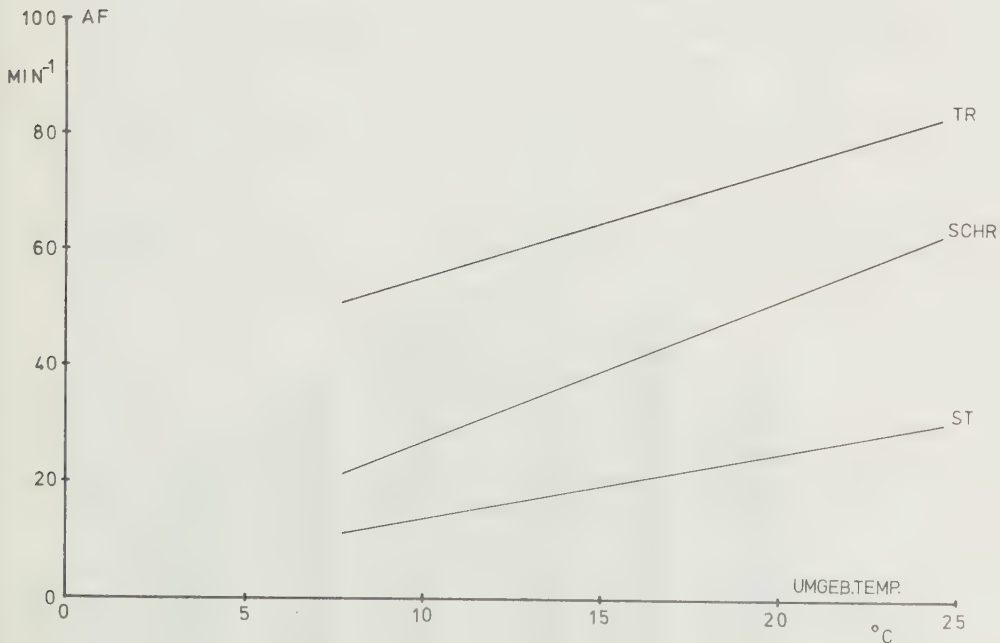


Abb.5: Abhängigkeit der Atemfrequenz (AF) von der Umgebungstemperatur bei allen drei Gruppen im Stand, Schritt und Trab

TAB 7 Atemfrequenzen (min^{-1})

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'	St'	St' (%)
Gr I	A1.1	367	39.0	75.0	97.0	103.5	-	-	112.0	108.2
	A1.2	373	8.5	60.0	78.5	100.0	-	-	62.0	62.0
		375	13.0	15.5	66.0	68.0	-	-	14.0	20.6
	A1.3	377	24.0	54.0	79.0	100.5	-	-	56.0	54.6
		380	25.5	52.5	83.0	102.5	102.0	72.0	44.0	61.1
	A1.4	378	18.0	48.0	56.5	89.0	78.0	62.5	24.0	38.4
		382	24.0	39.5	57.0	100.5	82.0	67.0	34.0	50.8
	$\bar{x}$		21.7	49.2	73.9	94.9	87.3	67.2	49.4	56.5
	s		9.9	18.5	14.8	12.8	12.9	4.8	32.4	27.0
	VK		45.6	37.5	20.0	13.5	14.7	7.1	65.5	47.8
Gr II	B1.1	370	12.0	31.0	76.5	103.5	-	-	20.0	19.3
	B1.2	390	18.5	35.0	76.0	-	-	88.5	-	-
		394	15.0	37.5	44.0	-	-	55.0	16.0	29.1
	B1.3	391	19.0	38.0	90.5	-	-	71.5	21.0	29.4
	B1.4	435	34.0	54.5	78.0	98.0	81.0	70.0	-	-
		437	31.0	55.5	74.0	-	-	-	-	-
	B1.5	392	24.0	39.5	61.5	-	-	44.0	-	-
	$\bar{x}$		21.9	41.6	71.5	100.8	81.0	65.8	19.0	25.9
	s		8.2	9.6	14.8	-	-	17.0	2.7	5.8
	VK		37.3	23.0	20.7	-	-	25.8	14.2	22.2
Gr III	C1.1	387	22.5	29.5	56.5	66.0	63.5	52.0	38.0	73.1
		393	16.5	24.5	69.5	94.0	82.0	69.5	52.0	74.8
	C1.2	388	16.0	35.5	50.0	-	-	49.0	-	-
		389	16.5	35.5	49.5	-	-	-	30.0	60.6
	C1.3	381	22.5	47.0	74.0	91.5	85.0	73.5	42.0	57.1
		399	21.5	55.0	69.0	83.0	78.5	71.0	40.0	36.3
	C1.4	436	35.5	52.5	54.5	-	-	58.0	40.0	69.0
	$\bar{x}$		22.0	39.9	60.4	83.6	77.3	62.2	40.3	65.2
	s		7.0	11.7	10.2	12.7	9.5	10.5	7.1	8.2
	Vk		31.7	29.3	16.8	15.1	12.3	16.9	17.6	12.5
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'	St'	St' (%)
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			n.s.	n.s.	n.s.	-	-	n.s.	**	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
$\bar{x}$ Gr II : $\bar{x}$ Gr III			n.s.	n.s.	*	-	-	n.s.	**	n.s.

3. Die Atemtiefe und das Atemzeitvolumen

3.1 Atemvolumen (VI)

In der aufsteigenden Belastung stieg VI in allen Gangarten mit zunehmender Gruppennummer an. Die Differenzen zwischen den Gruppen in einer Gangart lagen im Mittel um ca. 0.75 bis 1.0 Liter. Dabei waren die Abstände von der Gruppe I zur Gruppe II meist größer als von der Gruppe II zur Gruppe III. Diese Aussage konnte für die Gangarten Stand, Schritt und Trab auch statistisch abgesichert werden. Es bestehen hier deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen I und II bzw. zwischen den Gruppen I und III.

In der absteigenden Belastung waren wegen der geringen Anzahl an Werten - v.a. im Trab' - keine gesicherten Aussagen möglich. Doch es bestand auch hier der Trend zu höheren Werten bei den Gruppen II und III (signifikante Unterschiede im Schritt'). Weiterhin war auffallend, daß - im Gegensatz zur Atemfrequenz - VI in der abfallenden Belastung in allen drei Gruppen gleichgroß oder kleiner war als in der entsprechenden Gangart bei der aufsteigenden Belastung (siehe auch Mittelwerte einzelner Pferde in Tabelle 8 und Abb.6).

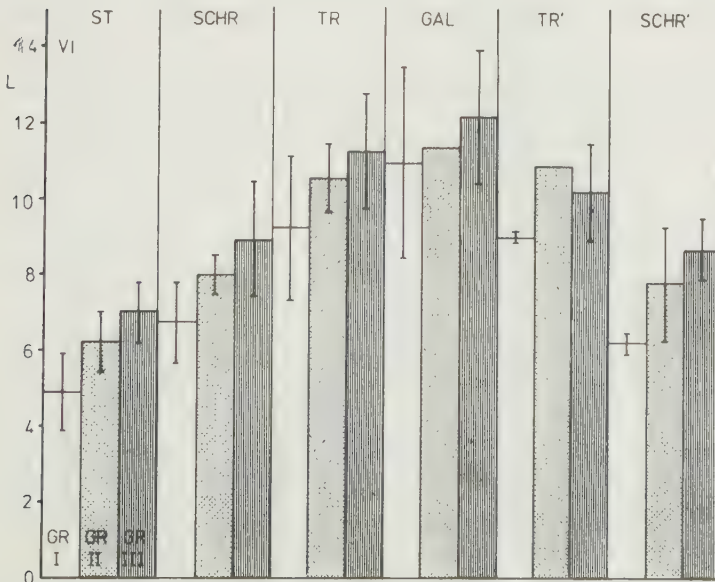


Abb.6: Die Veränderung des Atemvolumens (VI) in der zu- und abnehmenden Belastung bei den Gruppen I, II und III (Gruppenmittelwerte)

TAB 8 Atemvolumina (l)

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	5.3	7.5	7.8	14.1	-	-
	A1.2	373	5.2	4.8	5.7	7.2	-	-
		375	6.8	8.0	9.2	7.8	-	-
	A1.3	377	3.9	7.3	10.5	12.5	-	-
		380	5.1	6.8	11.3	11.2	8.9	6.3
	A1.4	378	4.1	5.8	9.4	11.4	8.9	6.1
		382	4.0	7.0	10.6	12.2	8.8	5.9
	$\bar{x}$		4.9	6.7	9.2	10.9	8.9	6.1
	s		1.0	1.1	1.9	2.5	0.1	0.2
	VK		21.2	16.0	20.9	23.3	1.0	3.9
Gr II	B1.1	370	6.8	8.8	10.1	11.4	-	-
	B1.2	390	6.3	8.4	10.7	-	-	5.6
		394	6.6	8.4	11.4	-	-	7.2
	B1.3	391	5.6	8.0	9.0	-	-	7.1
	B1.4	435	7.4	7.3	10.5	11.1	10.8	9.2
		437	5.6	7.6	10.5	-	-	-
	B1.5	392	5.3	7.5	11.6	-	-	9.2
	$\bar{x}$		6.2	8.0	10.5	11.3	10.8	7.7
	s		0.8	0.5	0.9	-	-	1.5
	VK		12.1	6.8	8.1	-	-	19.9
Gr III	C1.1	387	7.4	10.6	12.0	14.0	10.5	9.3
		393	6.9	10.2	13.6	12.9	11.6	9.1
	C1.2	388	8.2	9.8	10.4	-	-	9.3
		389	7.8	9.8	10.9	-	-	-
	C1.3	381	6.1	7.0	9.1	10.0	8.5	7.4
		399	6.2	7.9	10.1	11.6	9.9	7.8
	C1.4	436	6.4	7.2	12.1	-	-	9.0
	$\bar{x}$		7.0	8.9	11.2	12.1	10.1	8.6
	s		0.8	1.5	1.5	1.8	1.3	0.8
	VK		12.0	17.1	13.5	14.5	12.7	9.5
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			**	***	*	-	-	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			***	**	*	n.s.	n.s.	***
$\bar{x}$ Gr II : $\bar{x}$ Gr III			*	n.s.	n.s.	-	-	*

3.2 Atemminutenvolumen (AMV)

Das AMV wurde aus $VI \times AF$ berechnet.

Aufgrund der häufig starken Streuung konnte für die drei Einstufungsgruppen in den verschiedenen Gangarten nur folgende Aussage für das mittlere AMV sicher gestellt werden: in allen drei Gruppen war die Höhe des AMV - wie bei der Atemfrequenz - in der aufsteigenden Belastung niedriger als in der entsprechenden Gangart in der absteigenden Belastung. Nur als Tendenzen können weiterhin aufgeführt werden, daß die Pferde der Gruppe II im Trab und Galopp sowie im Trab' im Mittel deutlich das höchste AMV aufwiesen (Gr II: Tr 744 l/min, Gal 1134 l/min und Tr' 876 l/min), und daß die Pferde aus den Gruppen I und III außer im Stand und im Schritt' (die statistisch abgesicherten Unterschiede sind hier wahrscheinlich auf die unterschiedliche Geschwindigkeit zurückzuführen) nahezu identische Werte für das AMV zeigten (siehe Tabelle 9 und Abb.7).

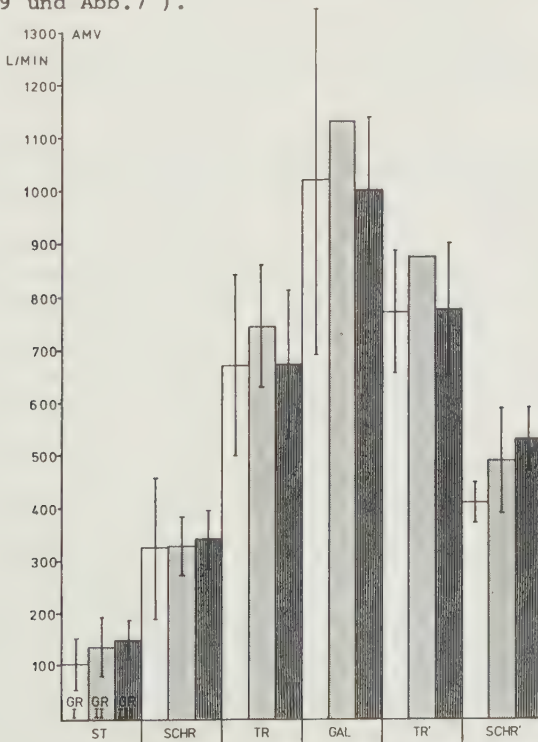


Abb.7: Die Veränderung des Atemminutenvolumens (AMV) in der zu- und abnehmenden Belastung bei den Gruppen I, II und III (Gruppenmittelwerte)

TAB 9 Atemminutenvolumina (l/min)

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	205	560	758	1460	-	-
	A1.2	373	44	289	447	715	-	-
		375	89	124	605	527	-	-
	A1.3	377	93	392	826	1278	-	-
		380	129	355	935	937	907	455
	A1.4	378	74	279	532	1011	696	383
		382	95	276	605	1226	718	392
	$\bar{x}$		104.1	324.9	672.6	1022.0	773.7	409.8
	s		51.2	133.3	173.0	328.0	116.0	39.4
	VK		49.2	41.0	25.7	32.1	15.0	9.6
Gr II	B1.1	370	81	272	770	1180	-	-
	B1.2	390	116	293	812	-	-	498
		394	99	313	500	-	-	398
	B1.3	391	106	305	818	-	-	508
	B1.4	435	250	398	818	1087	876	646
		437	167	421	777	-	-	-
	B1.5	392	127	294	713	-	-	404
	$\bar{x}$		135.1	328.0	744.0	1133.5	876.0	490.8
	s		57.3	57.5	113.9	-	-	100.7
	VK		42.4	17.5	15.3	-	-	20.5
Gr III	C1.1	387	167	314	680	927	665	483
		393	113	249	945	1212	951	630
	C1.2	388	132	349	520	-	-	454
		389	128	349	541	-	-	-
	C1.3	381	155	327	671	910	724	547
		399	133	435	696	960	774	550
	C1.4	436	227	378	659	-	-	521
	$\bar{x}$		150.7	342.9	673.1	1002.3	778.5	530.8
	s		38.1	57.2	138.9	141.4	123.3	61.2
	VK		25.3	16.7	20.6	14.1	15.8	11.5
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			n.s.	n.s.	n.s.	-	-	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
$\bar{x}$ Gr II: $\bar{x}$ Gr III			n.s.	n.s.	n.s.	-	-	n.s.

4. Die Atemzeiten und der Atemzeitquotient

4.1 Atemzeiten (TI, TE)

Die Zeiten für die Einatmungs- (TI) bzw. Ausatmungsphase (TE) waren im Stand am längsten (TI: Gr I 1316 ms, Gr III 1052 ms; TE: Gr I 1953 ms, Gr III 1299 ms). Im nachfolgenden Schritt verkürzten sie sich im Mittel auf etwa die Hälfte. Im Trab wurden die mittleren Atemzeiten um ca. ein Drittel kürzer als im Schritt und im Galopp um ca. ein Viertel kürzer als im Trab. In der absteigenden Belastung waren die Atemzeiten im Mittel im Trab' ca. 100 ms, im Schritt' ca. 200 ms kürzer als in den entsprechenden Gangarten in der aufsteigenden Belastung (siehe Tabelle 10 und Abb. 8).

Mit Ausnahme der Gruppen I und III im Stand ließen sich für die einzelnen Gruppen keine statistisch abgesicherten Unterschiede nachweisen. In allen drei Gruppen war die Streuung der Werte in der aufsteigenden Belastung meistens wesentlich höher als in der entsprechenden Gangart der absteigenden Belastung (am deutlichsten bei Gruppe I).

Beim Auftragen der relativen Dauer der Atemzeiten bei den verschiedenen Gangarten - wobei davon ausgegangen wurde, daß die Atemzeit im Stand 100 % beträgt - wurde ersichtlich, daß bei den Pferden der Gruppe III die Atemzeitdifferenzen zwischen den einzelnen Gangarten geringer waren als bei den anderen beiden Gruppen. Besonders deutlich wurde dies bei den Atemzeitdifferenzen zwischen Stand und Schritt und zwischen Schritt und Trab. In allen drei Gruppen wurden die Atemzeiten der Expiration mit zunehmender Belastung relativ stärker verkürzt als die Atemzeiten der Inspiration.

4.2 Atemzeitquotient (AZQ)

Der AZQ wurde in der üblichen Weise als TE/TI berechnet (Tabelle 11). Für den Durchschnitt der einzelnen Gruppen wurden folgende Beziehungen für den AZQ gefunden (Tabelle 12) :

- Bei Gruppe I war die Ausatmungsphase im Stand sowie im Schritt in der auf- und absteigenden Belastung länger als in der Einatmungsphase. In den übrigen Gangarten (Tr, Gal, Tr') galt die umgekehrte Beziehung.

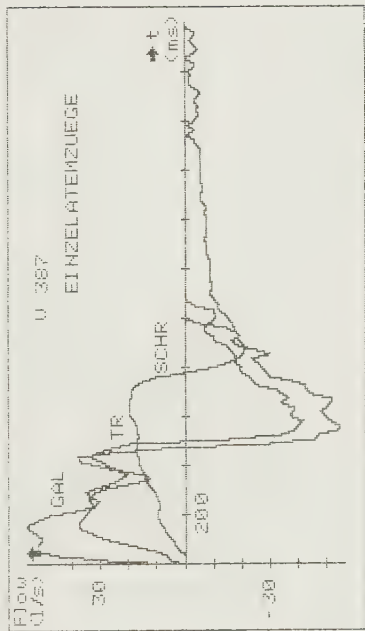
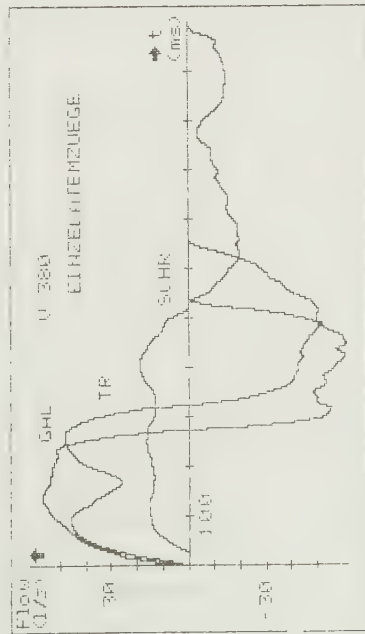
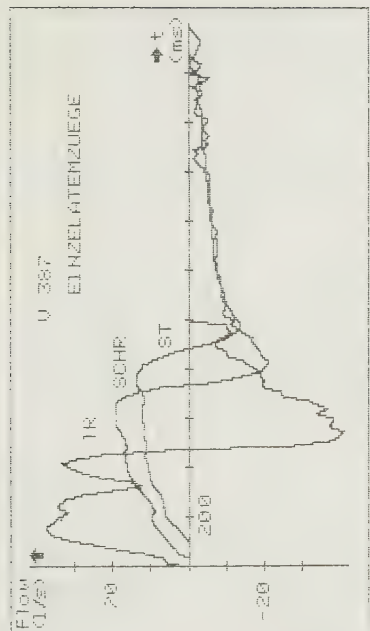
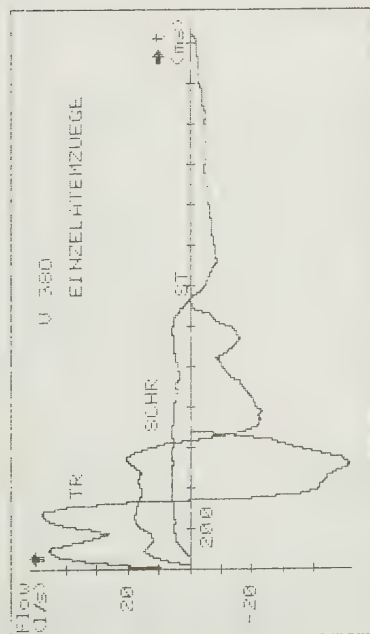


Abb. 8: Einzelatemzüge in verschiedenen Gangarten zur Demonstration der Atemzeitverkürzung mit zunehmender Belastung

- Auch bei Gruppe II war im Stand die Ausatmungsphase länger als die Einatmungsphase. In allen übrigen Gangarten der auf- und absteigenden Belastung bis zum Schritt' war das Verhältnis im Durchschnitt umgekehrt.

- Bei Gruppe III galt das Verhältnis Ausatmungsphase größer als Einatmungsphase in allen Gangarten der auf- und absteigenden Belastung mit Ausnahme des Trab'.

TAB 12 Beziehung zwischen TI und TE (Gruppenmittelwerte)

	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	I<E	I<E	E<I	E<I	E<I	I<E
Gr II	I<E	E<I	E<I	E<I	E<I	E<I
Gr III	I<E	I<E	I<E	I<E	E<I	I<E

Der AZQ der Pferde aus Gruppe II war in allen Gangarten deutlich (überwiegend signifikant) niedriger als bei den anderen beiden Gruppen. Die Gruppen I und III unterschieden sich im AZQ zwar nicht signifikant voneinander, doch waren die Werte der Pferde aus Gruppe III außer im Stand durchweg höher als diejenigen der Pferde aus Gruppe I.

Mit zunehmender Belastung konnte allgemein ein Kleinerwerden des AZQ festgestellt werden.

Beim Auftragen der durchschnittlichen Atemfrequenz der einzelnen Gruppen gegen den durchschnittlichen AZQ (Abb. 9) wurde ersichtlich, daß allgemein mit zunehmender AF der AZQ kleiner wird. Dabei war auffallend, daß die Galoppwerte bei allen drei Gruppen etwas über dem erwarteten Bereich lagen. Sie wurden deshalb bei der Berechnung der Regressionsgeraden nicht berücksichtigt. Außerdem konnte mit dieser Darstellung gezeigt werden, daß Pferde mit Bronchitis bei gleicher Atemfrequenz einen deutlich niedrigeren AZQ aufwiesen als Pferde mit Lungenemphysem. Die Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung lagen mit ihrem AZQ zwischen den beiden übrigen Gruppen.

Um diese Beziehung noch genauer zu ergründen, wurde aus TI und TE von den jeweils ersten zehn Einzelatemzügen jeder Gangart die Atemfrequenz ($60\ 000 : TI+TE$) und der AZQ ($TE : TI$) berechnet und für jede Gangart getrennt aufgetragen (Abb. 10). Dabei ergab sich, daß bei allen drei Gruppen bei insgesamt erhaltenem Gesamtbild innerhalb von Stand und Schritt der AZQ mit zunehmen-

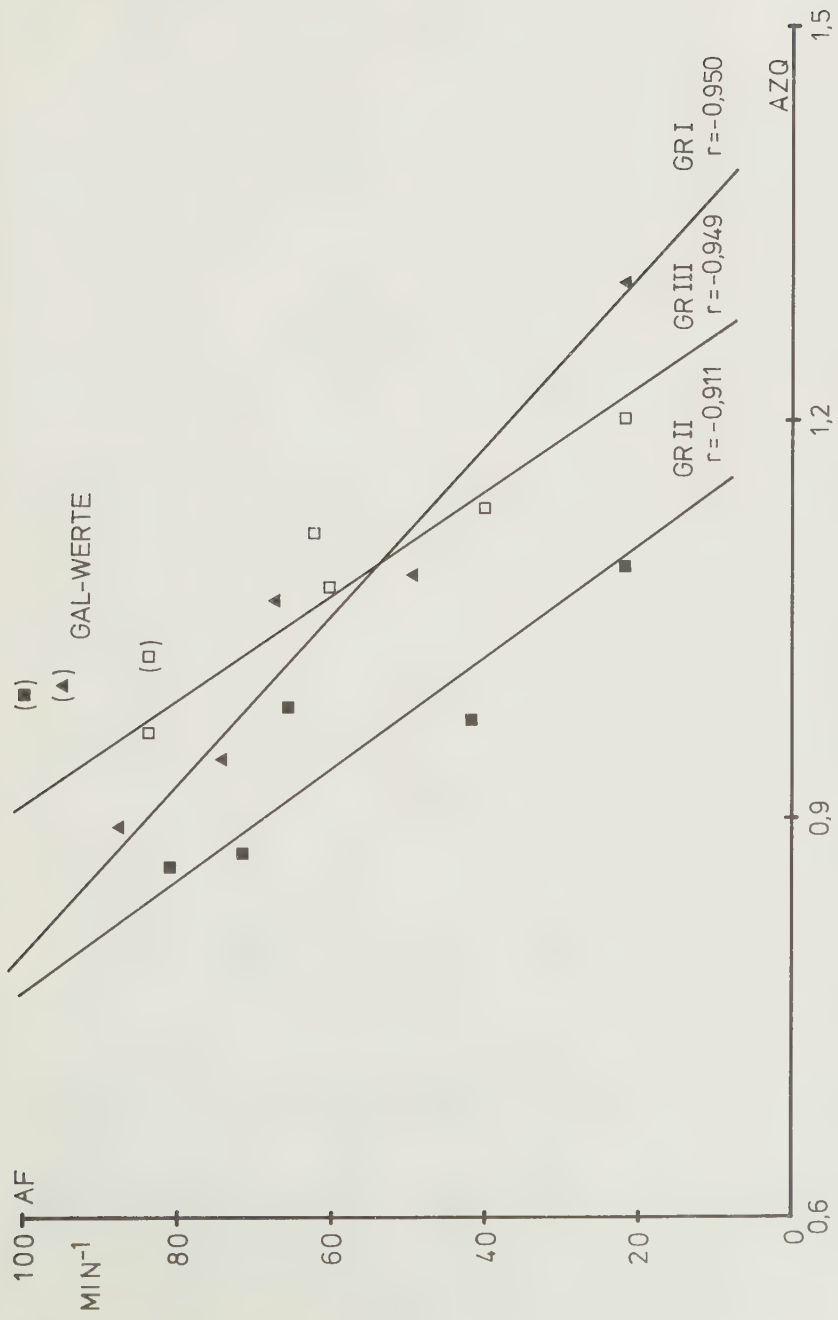


Abb. 9: Die Abhängigkeit von Atemfrequenz (AF) und Atemzeitquotient (AZQ) bei den Gruppen I, II und III aus den Mittelwerten aller Belastungsstufen außer Galopp

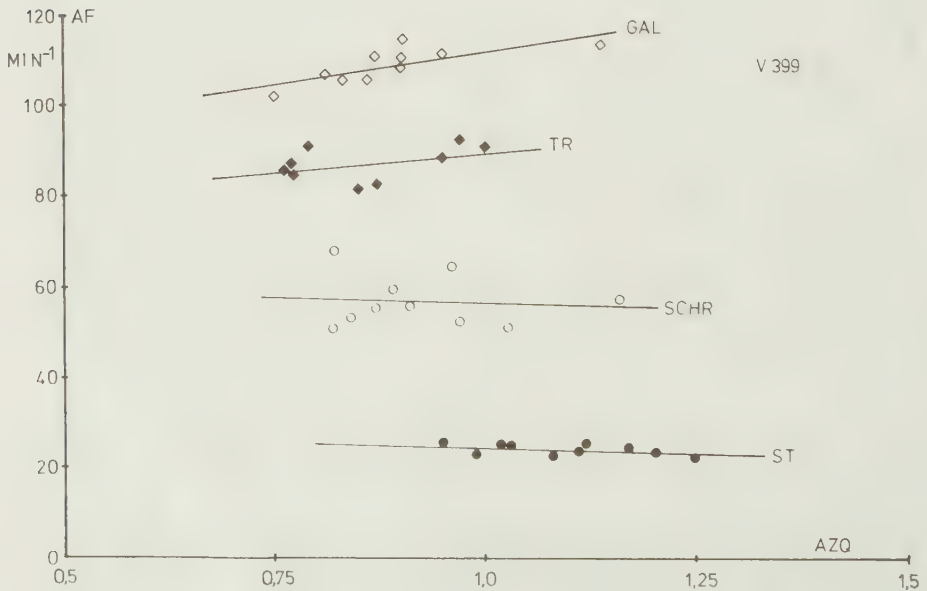
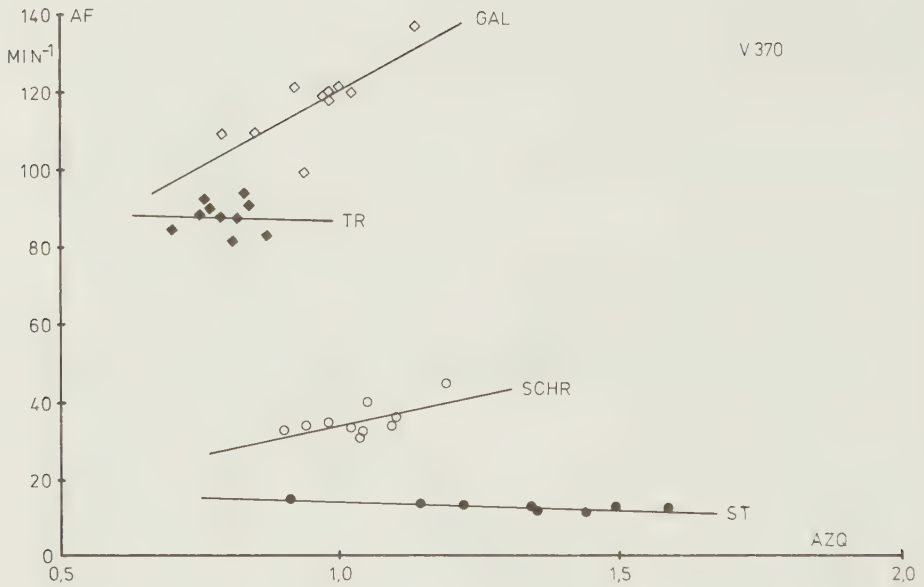


Abb.10: Die Abhängigkeit von Atemfrequenz (AF) und Atemzeitquotient (AZQ) aus Einzelatemzügen

TAB 11 Atemzeitquotienten

	Pferd	V	St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
Gr I	A1.1	367	0.92	0.94	0.89	1.02	-	-
	A1.2	373	2.00	1.21	1.14	1.18	-	-
		375	1.86	1.45	1.19	1.09	-	-
	A1.3	377	1.08	0.90	0.86	0.91	-	-
		380	1.07	1.01	0.78	0.86	0.93	1.04
	A1.4	378	1.07	0.96	0.90	1.01	0.85	1.06
		382	1.10	1.06	0.85	0.95	0.88	1.09
	$\bar{x}$		1.30	1.08	0.94	1.00	0.89	1.06
	s		0.44	0.19	0.16	0.11	0.04	0.03
	VK		33.9	17.6	17.0	11.0	4.5	2.8
Gr II	B1.1	370	1.25	1.08	0.82	0.95	-	-
	B1.2	390	1.02	0.92	0.82	-	-	0.99
		394	1.06	0.90	0.94	-	-	0.98
	B1.3	391	1.20	1.03	0.89	-	-	1.07
	B1.4	435	1.12	0.96	0.86	1.02	0.86	0.99
		437	1.07	0.96	0.93	-	-	-
	B1.5	392	0.94	0.94	0.81	-	-	0.88
	$\bar{x}$		1.09	0.97	0.87	0.99	0.86	0.98
	s		0.11	0.06	0.05	-	-	0.07
	VK		10.1	6.2	5.8	-	-	7.1
Gr III	C1.1	387	1.45	1.32	1.07	1.02	0.96	1.28
		393	1.46	1.32	0.99	1.06	0.87	1.11
	C1.2	388	-	1.22	1.33	-	-	1.22
		389	-	1.15	1.29	-	-	-
	C1.3	381	1.08	0.98	0.92	1.15	0.98	1.06
		399	1.11	0.93	0.89	0.87	0.89	1.04
	C1.4	436	0.91	0.96	1.01	-	-	0.97
	$\bar{x}$		1.20	1.13	1.07	1.02	0.96	1.11
	s		0.24	0.17	0.17	0.12	0.10	0.12
	VK		20.0	15.0	15.9	11.8	1.00	10.8
Signifikanz			St	Schr	Tr	Gal	Tr'	Schr'
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II			**	**	**	-	-	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
$\bar{x}$ Gr II: $\bar{x}$ Gr III			n.s.	*	*	-	-	*

der AF überwiegend kleiner wurde, daß aber innerhalb von Trab und Galopp der AZQ mit zunehmender AF auch häufig anstieg (siehe auch Tabelle 17 im Anhang).

4.3 Beziehung von Atemzeit und Atemvolumen (n.Kay et al.,1974)

Es wurden die Mittelwerte von VI im Stand, Schritt und Trab gegen die Mittelwerte von TI der entsprechenden Gangarten aufgetragen (Abb.11). Dabei zeigten sich die Tendenzen, daß

(1) bei allen drei Einstufungsgruppen mit zunehmender Belastung bei gleicher Atemzeit das Atemvolumen anstieg,

und daß

(2) innerhalb der einzelnen Belastungsstufen die Pferde der Gruppe I bei gleicher Atemzeit das niedrigste, und die Pferde der Gruppe III das höchste Atemvolumen hatten.

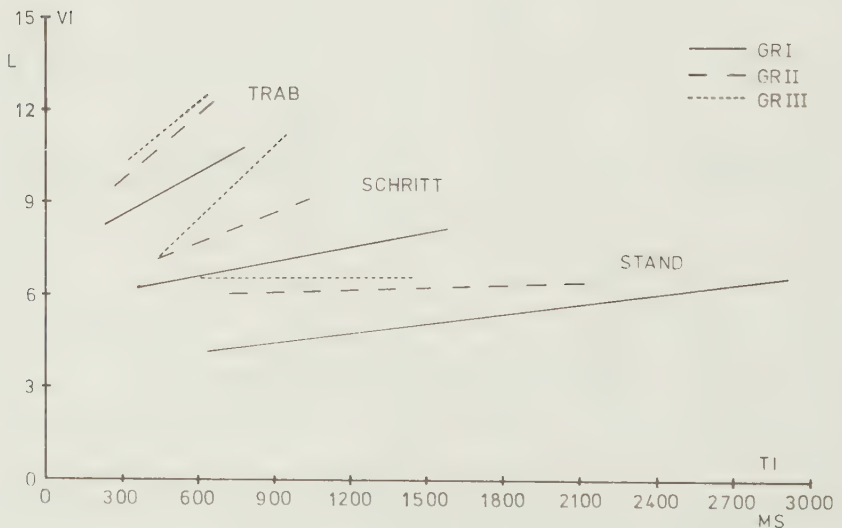


Abb.11: Die Abhängigkeit des Atemvolumens (VI) von der Atemzeit (TI) bei den Gruppen I, II und III in drei verschiedenen Belastungsstufen

5. Die Atemströmungen

5.1 Mittlere Atemströmungen ($\dot{V}_I, \dot{V}_E$)

Diese Atemgrößen wurden aus $VI:TI$ bzw. $VE:TE$ berechnet, wobei die Atemzeiten als Sekundenwert eingegeben wurden.

Bei allen drei Gruppen war die mittlere Atemströmung der Expiration im Stand kleiner als die mittlere Atemströmung der Inspiration (mit $\blacktriangleleft$ bezeichnet). Bei den Pferden der Gruppe III blieb dieses Verhältnis in allen Gangarten außer Trab' erhalten. Bei den Gruppen I und II war in den übrigen Gangarten die mittlere expiratorische Atemströmung - mit Ausnahme von Schritt in Gruppe I - größer als die mittlere inspiratorische Atemströmung. Gruppe I hatte in allen Gangarten niedrigere mittlere Atemströmungen als die übrigen beiden Gruppen, wobei die Unterschiede zwischen den Gruppen I und III in den unteren Gangarten und im Stand deutlicher waren als im Trab und Galopp. Vom Stand bis zum Trab hatten die Pferde der Gruppe III die höchsten mittleren Atemströmungen, im Galopp und Trab' hatten die Pferde der Gruppe II die höchsten Werte (Tabelle 13). Statistisch gesicherte Unterschiede gab es nur vereinzelt im Schritt, Trab und Schritt', wobei die deutlich höheren Werte der Pferde aus Gruppe III im Schritt und Schritt' wahrscheinlich wieder auf die signifikant höhere Geschwindigkeit in diesen Gangarten gegenüber den Pferden aus Gruppe I zurückzuführen sind.

5.2 Maximalströmungen ($\dot{V}_{I_{Max}}, \dot{V}_{E_{Max}}$)

Für die Auswertung wurde die über mindestens 20 Atemzüge (Tabelle 2) gemittelte maximale Atemströmung (Flow) von jeweils der Einatmungsphase ($\dot{V}_{I_{Max}}$) und der Ausatmungsphase ($\dot{V}_{E_{Max}}$) herangezogen (Tabelle 14). Zudem wurde der jeweilige ms-Wert mit aufgezeichnet (Tabelle 18 im Anhang), um die Lage des Strömungsmaximums zu bestimmen (Tabelle 15).

Im Gruppendurchschnitt war $\dot{V}_{E_{Max}}$ in allen Gangarten und bei allen drei Gruppen größer als $\dot{V}_{I_{Max}}$. In den Gruppen I und III gab es aber einzelne Tiere, die in einigen Gangarten in der Einatmungsphase höhere Strömungswerte hatten als in der Ausatmungsphase (mit $\blacktriangleleft$ gekennzeichnet).

In der aufsteigenden Belastung hatten die Pferde der Gruppe I die niedrigsten Maximalströmungen. Die Pferde der Gruppe II hat-

ten dieselben oder etwas höhere Werte als die Pferde der Gruppe I. Die durchschnittlichen Maximalströmungen bei den Pferden der Gruppe III lagen meist deutlich höher (bis zu ca. 4 l/s Differenz) als bei den anderen beiden Gruppen (signifikant im St und Schr).

Im Trab' erwiesen sich die Maximalströmungen bei den einzelnen Gruppen als relativ einheitlich, während im Schritt' Gruppe I wieder signifikant niedrigere Werte aufzeigte als Gruppe III (Differenz hier 6.5(I) bzw. 6.9(E) l/s).

Der Maximalflow war im Schritt' gegenüber dem Schritt vor der Belastung bei Gruppe I um ca. 5 l/s höher, bei Gruppe II um ca. 7 l/s und bei Gruppe III um ca. 8 l/s. Beim Vergleich Trab-Trab' war der Maximalflow in der absteigenden Belastung bei Gruppe I um ca. 6 l/s höher, bei Gruppe II um 2 l/s bei der Inspiration und ca. 6 l/s bei der Expiration und bei Gruppe III um ca. 2 l/s.

Das inspiratorische Flowmaximum lag bei allen drei Gruppen und in allen Gangarten nahe der Mitte des Halbatemzuges (zwischen 40 und 60 % der Atemzeit). Mit zunehmender Belastung wurde das Maximum bei den Gruppen I, II und III um ca. 15 % vor die mittlere Position in Richtung Inspirationsbeginn verlagert (mit Ausnahme der zwei Galoppwerte von Gruppe II). Bei abfallender Belastung wanderte das Flowmaximum wieder in Richtung Halbatemzugmitte bzw. darüber hinaus. Das inspiratorische Flowmaximum wurde im Durchschnitt in allen Gangarten außer Stand und Galopp von den Pferden der Gruppe III am spätesten erreicht (Abb.12).

Das expiratorische Flowmaximum lag allgemein in der ersten Hälfte des Halbatemzuges (ca. zwischen 15 und 50 % der Atemzeit). Bei allen Gruppen wanderte es bei Belastung vom ersten Viertel des Halbatemzuges im Stand bis weit in das zweite Viertel. Bei den Gruppen I und III war auch noch im Trab' ein weiteres Vorrücken des Flowmaximums gegen die Halbatemzugmitte festzustellen. Gruppe III erreichte mit dem $\dot{V}E_{Max}$ erst im Trab das zweite Viertel des Halbatemzuges und mit nur 39 % im Trab' den höchsten (spätesten) Wert. Im Schritt' verlagerte sich das Flowmaximum allgemein wieder in Richtung Expirationsbeginn. Das expiratorische Flowmaximum wurde in allen Gangarten von Gruppe III durchschnittlich am frühesten erreicht (Ausnahme: Tr' bei Gruppe II).

TAB 15 Lage der Maximalströmung ($\dot{V}_{\text{Max}}$ in % von der Gesamtzeit des Halbatemzuges)

Pferd	V	St		Schr		Tr		Gal		Tr'		Schr'	
		I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E
Gr I	A1.1	367	27.2	29.5	32.0	37.5	29.8	38.0	40.5	29.5	-	-	-
	A1.2	373	72.1	9.5	56.3	34.9	53.7	37.1	60.6	17.5	-	-	-
	375	60.8	14.9	69.3	23.9	69.3	49.7	25.2	31.4	36.8	-	-	-
	A1.3	377	52.7	22.3	45.7	26.2	41.8	43.8	41.5	26.1	-	-	-
	380	54.5	18.1	53.4	25.5	52.2	45.4	49.5	38.3	40.0	33.8	51.6	34.1
A1.4	378	64.7	19.3	46.5	41.0	43.9	40.4	26.9	37.5	68.3	60.1	33.8	31.2
	382	54.4	25.7	45.2	23.0	38.4	43.6	34.3	53.1	34.8	50.2	47.7	34.8
	$\bar{x}$	55.2	19.9	49.8	30.3	44.2	39.1	40.7	34.1	47.7	48.0	44.4	33.4
s		14.1	6.7	11.6	7.3	8.5	6.9	11.5	11.3	18.0	13.3	9.4	1.9
	VK	25.5	33.7	23.3	24.1	19.2	17.7	28.3	33.1	37.7	27.7	21.2	5.7
Gr II	B1.1	370	47.7	14.1	27.1	34.0	50.7	40.7	51.0	48.4	-	-	-
	B1.2	390	70.7	24.6	47.9	40.8	57.1	32.6	-	-	-	58.0	40.0
	394	75.2	16.7	41.7	32.8	38.3	39.6	-	-	-	-	45.7	36.3
	B1.3	391	66.6	9.7	52.4	22.4	60.6	38.2	-	-	-	55.3	30.2
	B1.4	435	45.7	22.2	34.7	26.7	44.4	49.1	56.9	40.7	39.0	28.8	44.7
B1.5	437	68.5	20.7	40.5	29.1	37.9	48.8	-	-	-	-	-	-
	392	45.1	23.6	51.5	25.9	37.2	47.9	-	-	-	-	44.0	34.0
	$\bar{x}$	59.9	18.8	42.3	30.2	40.6	42.4	53.9	44.6	39.0	28.8	49.5	34.5
s		13.2	5.5	9.2	6.1	9.7	6.3	-	-	-	-	6.6	3.8
	VK	22.0	29.3	21.8	20.2	23.9	14.9	-	-	-	-	13.3	11.0
Gr III	C1.1	387	84.3	5.6	81.5	7.8	47.3	15.4	53.2	26.0	56.5	19.8	73.4
	393	63.6	20.6	60.5	19.6	40.6	35.3	51.9	33.5	38.3	49.7	51.5	37.0
	C1.2	388	-	-	70.1	7.9	59.6	11.7	-	-	-	65.3	12.4
	389	-	-	-	74.6	11.5	53.4	16.1	-	-	-	-	-
	C1.3	381	41.2	15.4	48.3	32.1	56.8	48.9	42.3	45.0	46.3	47.2	55.1
C1.4	399	52.8	14.6	39.9	32.6	47.0	40.1	35.5	32.2	55.3	38.8	52.7	40.1
	436	44.5	21.5	48.7	26.7	45.6	18.7	-	-	-	-	52.2	21.6
	$\bar{x}$	57.3	15.5	60.5	19.7	50.0	26.6	45.7	34.2	49.1	38.9	58.4	27.2
s		17.4	6.3	15.5	10.9	6.8	14.6	8.4	7.9	8.5	13.5	9.0	12.7
	VK	30.4	40.7	25.6	55.3	13.6	54.9	18.4	23.1	17.3	34.7	15.4	46.7
Signifikanz													
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr II		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-	-	n.s.	n.s.
$\bar{x}$ Gr I : $\bar{x}$ Gr III		n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
$\bar{x}$ Gr II : $\bar{x}$ Gr III		n.s.	n.s.	*	*	*	*	-	-	-	-	n.s.	n.s.

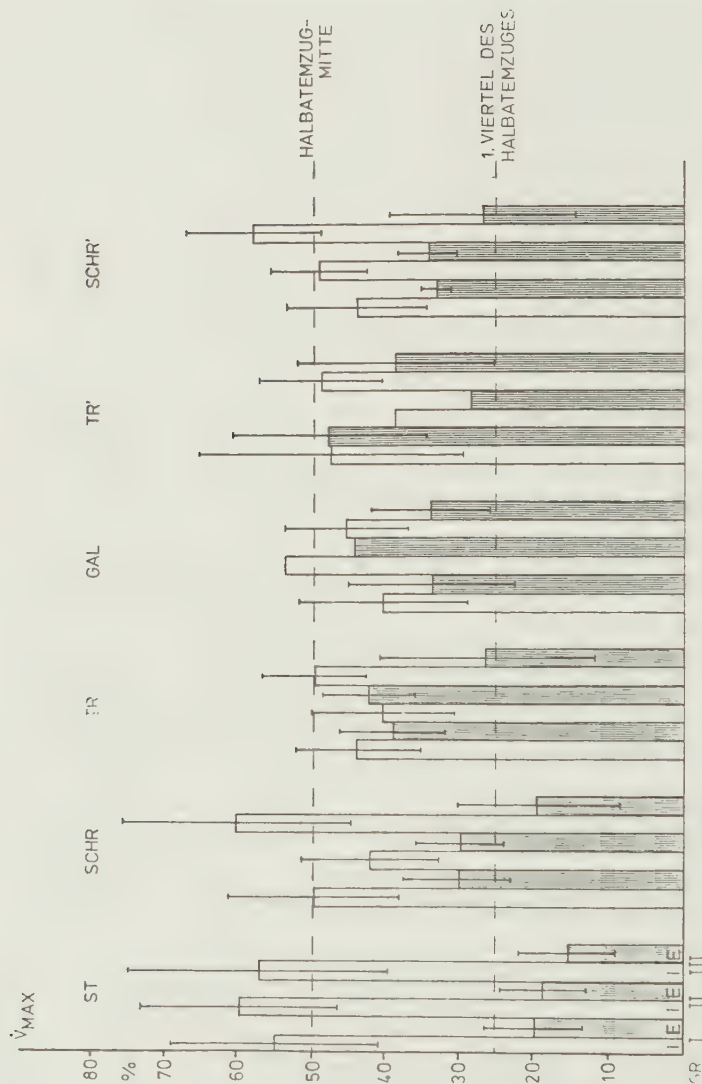


Abb. 12: Lage des Flowmaximums in % des inspiratorischen bzw. expiratorischen Halbatemzuges bei den Gruppen I, II und III in der auf- und absteigenden Belastung

5.3 Atemströmungen bei 50 bzw. 25 ms ($\dot{V}I_{50}$ bzw. $\dot{V}E_{50}$ bzw. $\dot{V}E_{25}$)

Diese Atemströmungswerte wurden herausgegriffen, um die Steilheit einer Atemkurve zu Beginn eines Halbatemzuges beurteilen zu können. Im Stand und Schritt wurde die Atemströmung nach 50 ms gewählt ($\dot{V}I_{50}$ bzw. $\dot{V}E_{50}$), im Trab und Galopp die Atemströmung nach 25 ms ($\dot{V}I_{25}$ bzw. $\dot{V}E_{25}$). Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Die Anfangssteilheit der Strömungskurven nahm bei allen drei Gruppen sowohl in der Einatmungs- wie auch in der Ausatmungsphase mit zunehmender Belastung zu. Im Durchschnitt war auch bei allen Gruppen und in allen Gangarten die Steilheit zu Beginn der Expiration größer als zu Beginn der Inspiration. Wie bei den mittleren und maximalen Atemströmungen gab es aber auch hier wieder in den Gruppen I und III vereinzelte Tiere, bei denen im Trab und v.a. im Galopp die inspiratorische Anfangssteilheit größer war als die der Expiration (in Tabelle 16 mit Δ gekennzeichnet).

Wegen der großen Streuung dieser Werte (Variationskoeffizienten im Stand zwischen 56.5 und 103 %, in den übrigen Gangarten bis 51 %) sind alle weiteren Aussagen nur als statistisch nicht abgesicherte Trends aufzufassen.

Der inspiratorische Halbatemzug hatte im Stand und Schritt bei allen drei Gruppen annähernd dieselbe Anfangssteilheit. Im Trab, Galopp und Trab' war die inspiratorische Anfangssteilheit bei Gruppe II am höchsten und bei Gruppe III am geringsten. Im Schritt' nahm die Anfangssteilheit des inspiratorischen Halbatemzuges mit zunehmender Gruppennummer zu.

Die Anfangssteilheit des expiratorischen Halbatemzuges war im Stand, Schritt und Trab sowie im Schritt' bei Gruppe III am höchsten, wobei die Pferde der Gruppe II im Trab durchschnittlich annähernd dieselben Werte aufwiesen wie die Pferde der Gruppe III. Im Galopp hatten die Pferde der Gruppe I die größte expiratorische Anfangssteilheit, wobei die große Streuung erwähnt werden muß (VK von 31). Die niedrigste Anfangssteilheit in dieser Belastungsstufe hatten die Pferde der Gruppe III. Im Trab' waren die expiratorischen Anfangssteilheiten der Pferde von den Gruppen I und III annähernd gleich, während Gruppe II - in dieser Gangart nur von einem Pferd repräsentiert - die höchste Anfangssteilheit aufwies (Abb.13).

TAB 16 Atemströmung bei 50 bzw. 25 ms (l/s)

[illegible]

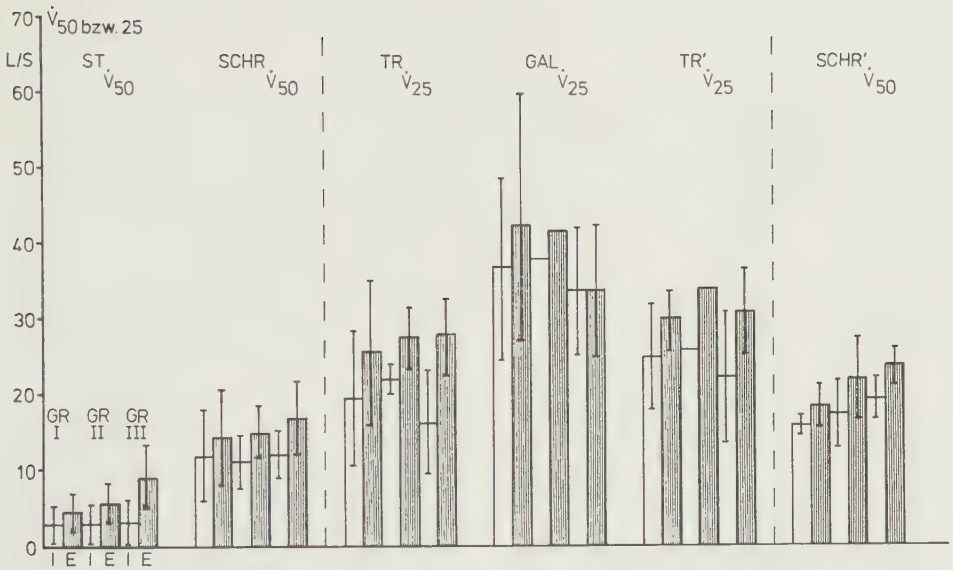


Abb.13: Der Flowwert nach 50 bzw. 25 ms nach dem Beginn des jeweiligen Halbatemzuges zur Beurteilung der Anfangsteilheit

5.4 Abhängigkeit der Atemzeit von der Atemströmung

Bei allen drei Gruppen wurde die Atemzeit mit zunehmender mittlerer Atemstromstärke exponentiell kleiner. Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten von Inspiration und Expiration mit zunehmender Belastung wurden in dieser Beziehung nicht deutlich. Eine Differenzierungsmöglichkeit zwischen den Gruppen I und III stellte sich aber sowohl für die Ein- wie auch für die Ausatmung dar (Abb.14): bei gleicher Atemströmung hatten die Pferde der Gruppe III im Schritt, Trab und Galopp deutlich höhere Atemzeiten als die Pferde der Gruppe I. Die Werte der Gruppe II lagen bei dieser Gegenüberstellung zwischen denen der anderen beiden Gruppen.

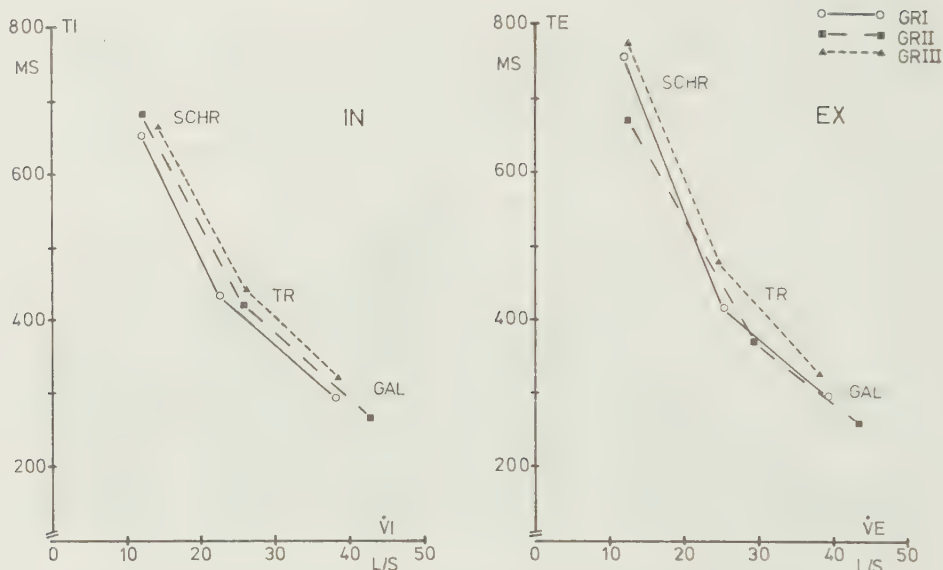


Abb.14: Abhängigkeit der Atemzeit (TI,TE) von der Atemströmung ($\dot{V}_I, \dot{V}_E$) im Schritt, Trab und Galopp bei den Gruppen I, II und III.

6. Die Flow-Volumen-Schleifen

Beim Auftragen der Atemströmung gegen das Atemvolumen im Verlauf eines (mittleren) Atemzuges konnten einige bisher getroffenen Feststellungen optisch verdeutlicht werden. Abb.15 zeigt jeweils zwei repräsentative Pferde der verschiedenen Gruppen. In diesen Darstellungen wurden die mittleren Flow-Volumen-Schleifen von drei Gangarten übereinandergelegt. Unter A die Schleifen von Stand, Schritt und Trab; und unter B die Schleifen von Schritt, Trab und Galopp. Dabei wurde deutlich, daß die Pferde aus Gruppe I von einem kleinen Volumen und geringen Flow ausgehend in beiden Größen mit zunehmender Belastung große Ausdehnungsreserven besitzen. Die Pferde aus Gruppe II begannen im Stand mit einem relativ hohen Volumen, aber niedrigen Flow. Sie erhöhten bei Belastung den Flow stärker als das Volumen. Die Pferde aus Gruppe III gingen dagegen im Stand schon von einem relativ hohen

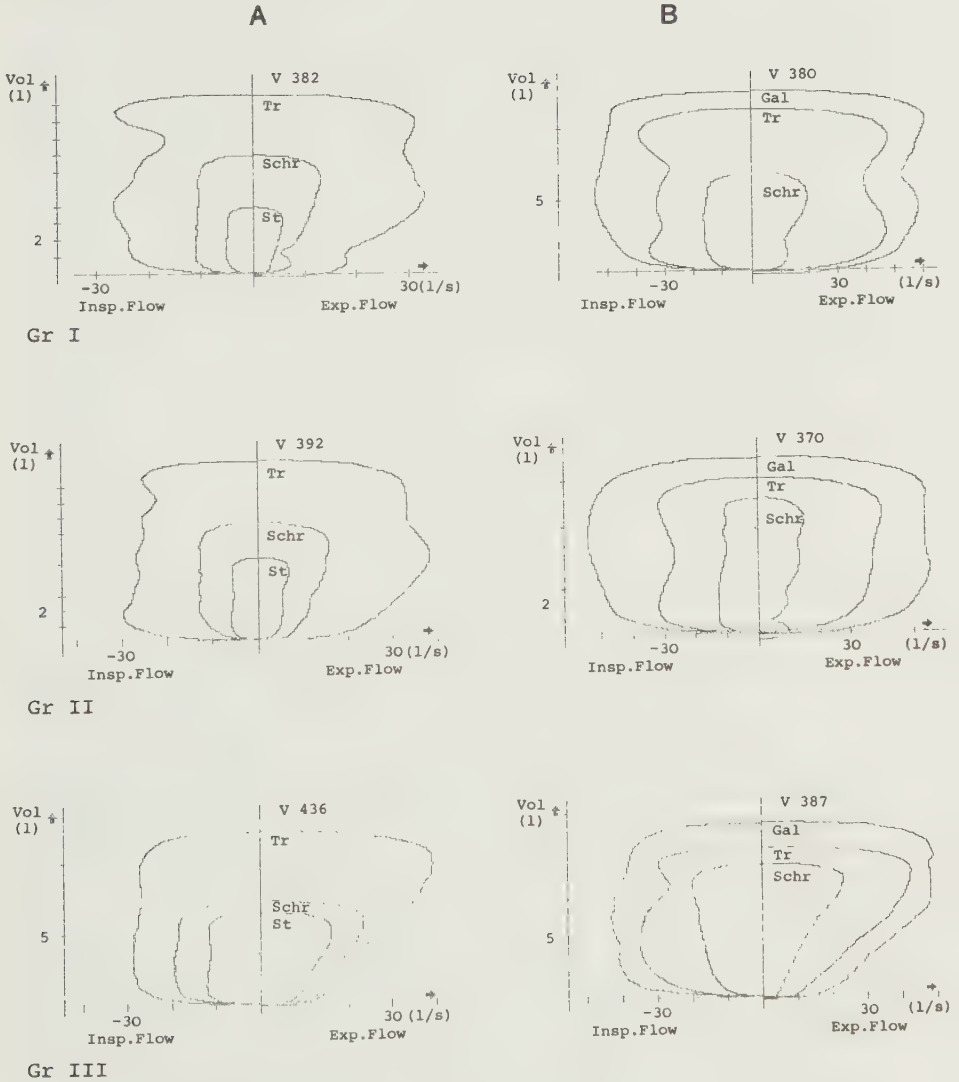


Abb.15: Mittlere Flow-Volumen-Schleifen

A: in den Gangarten Stand, Schritt und Trab

B: in den Gangarten Schritt, Trab und Galopp

Volumen und hohen Flow aus. Die Steigerungsmöglichkeit für beide Atemgrößen war bei ihnen geringer als bei den anderen beiden Gruppen.

Unterschiede in der Form der Flow-Volumen-Schleifen bezüglich des Erkrankungsgrades traten vor allem auf der expiratorischen Seite auf. Dabei waren für einen großen Teil der Pferde der Gruppe III der steile Flowanstieg bei nahezu unverändertem Volumen zu Beginn der expiratorischen Flow-Volumen-Schleife, und der daran anschließende konkave Abfall typisch. Um die Unterschiede wieder in Zahlen ausdrücken zu können, wurden im Schritt und Trab die Flowwerte bei $V_{1/2}$ und $V_{3/4}$ (= $\bar{V}_x$) ausgemessen (Abb.16), gemittelt und als Prozentsatz des jeweils zugehörigen Maximalflows ausgedrückt.

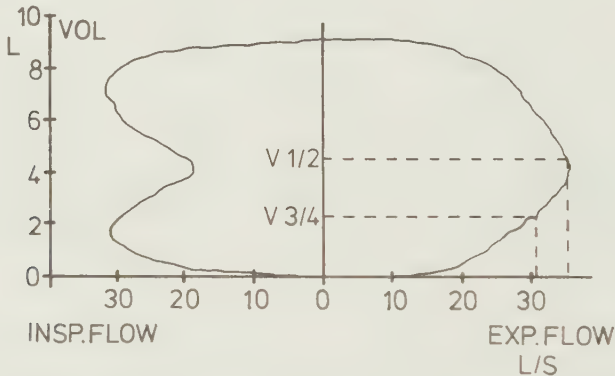


Abb.16: Mittlere Flow-Volumen-Schleife im Trab (V 381) mit der Darstellung der zu $V_{1/2}$ bzw. $V_{3/4}$ zugehörigen Flowwerte

Dies ergab im Schritt für Gruppe I einen Wert von $64 \pm 5.2 \%$,
für Gruppe II einen Wert von $69 \pm 6.2 \%$
und für Gruppe III einen Wert von $57 \pm 10.1 \%$.

Im Trab ergab dies für Gruppe I einen Wert von $72 \pm 8.7 \%$,
für Gruppe II einen Wert von $79 \pm 3.1 \%$
und für Gruppe III einen Wert von $65 \pm 17.7 \%$.

Signifikante Unterschiede konnten dabei im Schritt zwischen den Gruppen II und III (*) und im Trab zwischen den Gruppen I und II (***) festgestellt werden. Aus diesen Berechnungen wurde ersichtlich, daß in beiden untersuchten Gangarten der Flowabfall

der Pferde der Gruppe II in diesem Abschnitt der Schleife im Mittel deutlich geringer, und derjenige der Pferde der Gruppe III deutlich ausgeprägter ausfiel als bei den Pferden der Gruppe I. Die Differenz der Flowwerte bei $\bar{V}_x$ zwischen den Gangarten Schritt und Trab war bei Gruppe II im Mittel am größten (20 ± 6 l/s) und bei Gruppe III am geringsten (15 ± 9 l/s). Der entsprechende Wert von Gruppe I lag bei 17 ± 8 l/s.

7. Die Atemformen

Bei allen Versuchen wurden in jeder Gangart neben den Einzelatemkurven auch mittlere Atemkurven und deren Standardabweichung aufgezeichnet. (x-Achse: Atemzeit in Millisekunden, y-Achse: Atemströmung in Liter pro Sekunde. Dabei weist die inspiratorische Atemströmung positive und die expiratorische Atemströmung negative Werte auf).

Die mittleren Atemkurven wurden in den folgenden Abschnitten für Vergleiche unter den drei Einstufungsgruppen herangezogen. Dazu wurde unter A die für die jeweilige Gangart repräsentative Atemkurve aufgelistet und unter B Ausnahmen, Extreme oder besondere Varianten.

Allgemein war festzustellen, daß mit zunehmender Belastung bzw. Synchronisation der Atmung mit der Fußung (vor allem im Galopp und Trab nach dem Galopp) die Standardabweichung immer kleiner wurde. Die Form des Strömungsverlaufes wiederholte sich also mit sehr geringen Veränderungen.

7.1 Atemformen im Stand

- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

Im Stand trat allgemein eine starke Streuung durch sehr unterschiedliche Atemzüge auf. Bei längerer Inspirationsdauer traten zweigipflige Kurven auf. Ansonsten war die Form des inspiratorischen Halbatemzuges rund bis angedeutet rechteckig mit flachem Anstieg und Abfall. Das Flowmaximum lag teils am Anfang, teils am Ende des Halbatemzuges. Bei der Expiration dominierte die abgerundete Rechtecksform mit dem Flowmaximum zu Beginn des Halbatemzuges, d.h. ein langgezogenes abfallendes Plateau (Abb.17 St I A). - Abweichend hiervon gestalteten sich die Atemkurven bei sehr langen Atemzeiten. Bei der Inspiration bildete sich dann ein Plateau mit zwei bis drei kleinen Gipfeln. Bei der Expiration entwickelte sich zu Beginn und am Ende des langgezogenen Halbatemzuges jeweils eine ausgeprägte Flow-Spitze, wobei die erste Spitze die zweite an Höhe übertraf. (Abb.17 St I B).

- Pferde mit Bronchitis

Der inspiratorische Halbatemzug stellte sich meist rechteckig dar und bildete ein ausgeprägtes Plateau, das teilweise leicht ansteigend oder abfallend verlief. Der expiratorische Halbatemzug verlief teils rechteckig mit abfallendem Plateau bis zur nahezu dreieckigen Form mit dem Flowmaximum zu Beginn der Atemkurve (Abb.17 St II A). - Auch bei dieser Gruppe bildeten sich bei sehr langen Atemzeiten sowohl im inspiratorischen wie auch im expiratorischen Halbatemzug zwei größere Flowspitzen aus, wobei in der Expiration die Spitze zu Beginn wieder diejenige am Ende der Atemkurve an Höhe übertraf (Abb.17 St II B).

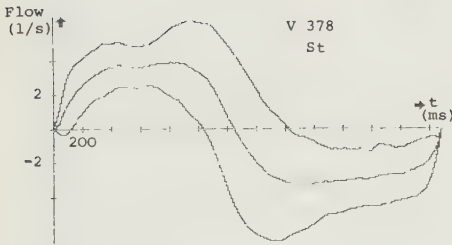
- Pferde mit Lungenemphysem

Der inspiratorische Halbatemzug gestaltete sich in dieser Gruppe überwiegend rechteckig, wobei der Anstieg meist flach und der Abfall steil gestaltet war. Daher waren teilweise auch annähernd dreieckige Formen zu finden. Der expiratorische Halbatemzug verlief meistens nahezu dreieckig mit ausgeprägtem Flowmaximum zu Beginn der Atemkurve und langgezogenem flachen Auslaufen (Abb.17 St III A). - Als Besonderheit trat in dieser Gruppe ein Pferd auf (Pfd.C1.2), das im Stand eine ausgedehnte Atempause zwischen den inspiratorischen und expiratorischen Halbatemzug legte (Abb.17 St III B).

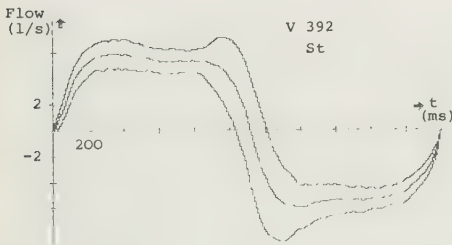
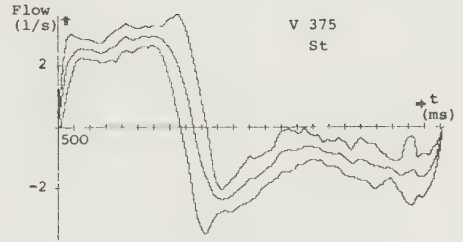
STAND

A

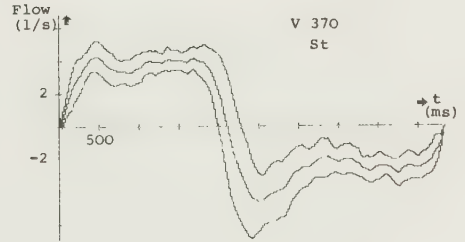
B



Gr I



Gr II



Gr III

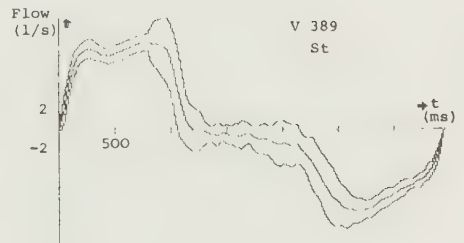


Abb.17: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Stand
A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
B: Ausnahmen, Besonderheiten

7.2 Atemformen im Schritt

- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

Der inspiratorische Halbatemzug war meist rund bis leicht rechteckig mit abgerundeten Ecken. Der expiratorische Halbatemzug war rechteckig mit stark abfallendem Plateau bis zu annähernd dreieckig. Meist war dieser Halbatemzug mehr oder weniger deutlich zweigipflig ausgebildet, wobei das Flow-Maximum zu Beginn der Atemkurve gelagert war (Abb.18 Schr I A). - Bei sehr langen Atemzeiten bildeten sich auf der inspiratorischen Seite bei rechteckiger Kurvenform meist drei kleinere Gipfel aus. Bei der Expiration wurden wieder dreieckige bis rechteckige Atemkurven mit abfallendem Plateau ausgebildet, wobei zahlreiche kleine Gipfel (Oszillationen) in der Atemströmung auftraten (Abb.18 Schr I B).

- Pferde mit Bronchitis

Bei dieser Gruppe waren die Atemformen im Schritt allgemein relativ gleichmäßig gestaltet. Bei der Inspiration wurde bei rechteckiger Atemform immer ein deutliches Plateau ausgebildet, das meist eine abfallende Neigung hatte und häufig zweigipflig war. Bei längeren Atemzeiten bildeten sich auch drei kleinere Gipfel. Die Expiration gestaltete sich wieder rechteckig mit abfallendem Plateau bis dreieckig mit dem Flow-Maximum zu Beginn des expiratorischen Halbatemzuges (Abb.18 Schr II A und B).

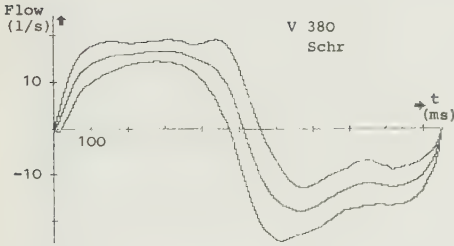
- Pferde mit Lungenemphysem

Der inspiratorische Halbatemzug stellte sich in dieser Gruppe dreieckig bis rechteckig dar, wobei der aufsteigende Schenkel der Atemkurve flach ansteigend und der absteigende Schenkel steil abfallend war. Dadurch war das Flowmaximum der Inspiration häufig gegen das Ende des inspiratorischen Halbatemzuges gelagert. Der expiratorische Halbatemzug gestaltete sich überwiegend dreieckig mit ausgeprägtem Flowmaximum zu Beginn der Expiration und langgezogenem flachen Auslaufen der Kurve (Abb.18 Schr III A). - Abweichend davon traten in einigen Versuchen Atemkurven mit eher rechteckigen Formen sowohl in der Inspiration wie auch in der Expiration auf. Bei der Inspiration war das Plateau dann meist gerade, bei der Expiration war es immer abfallend, in wenigen Fällen zweigipflig. In allen Fällen lag das Flowmaximum zu Beginn der Expiration (Abb.18 Schr III B).

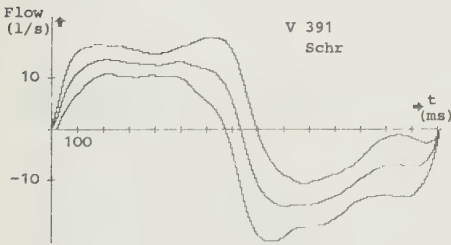
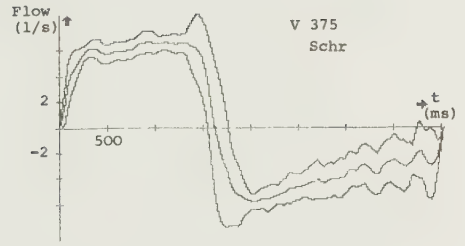
SCHRITT

A

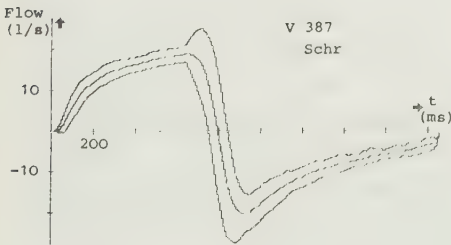
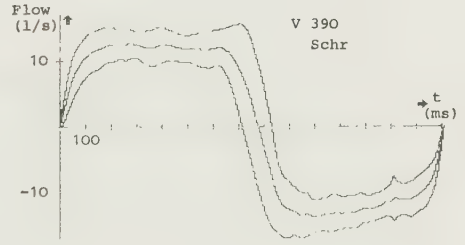
B



Gr I



Gr II



Gr III

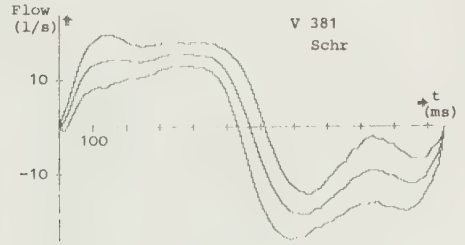


Abb.18: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Schritt
 A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
 B: Ausnahmen, Besonderheiten

7.3 Atemformen im Trab

- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

Der inspiratorische Halbatemzug gestaltete sich überwiegend rechteckig mit deutlichem Plateau. Es waren häufig zwei bis drei Gipfel ausgebildet. Die Steilheit zu Beginn und am Ende des Halbatemzuges war annähernd gleich. Auch der expiratorische Halbatemzug war überwiegend rechteckig gestaltet, wobei das Plateau nur leicht abfiel. Bei den teilweise vorkommenden runden expiratorischen Atemkurven war nur ein Gipfel ausgebildet, ansonsten kamen bis zu drei Gipfel vor (Abb.19 Tr I A). - Bei langen Atemzeiten dominierte die rechteckige Atemform sowohl in der Inspiration wie auch in der Expiration. Die jeweiligen Plateaus gestalteten sich mit mehreren Gipfeln bzw. Oszillationen in der Atemströmung. Im Gegensatz zum inspiratorischen Plateau war das expiratorische leicht abfallend (Abb.19 Tr I B).

- Pferde mit Bronchitis

Die Atemformen dieser Gruppe waren auch im Trab relativ einheitlich ausgebildet. Der inspiratorische wie auch der expiratorische Halbatemzug war rechteckig gestaltet. Die inspiratorische Atemkurve zeigte häufig zwei Gipfel. Das Plateau der expiratorischen Atemkurve war leicht abfallend und hatte teilweise zwei Gipfel ausgebildet (Abb.19 Tr II A). - Beim expiratorischen Halbatemzug kamen aber auch runde Formen vor (Abb.19 Tr II B).

- Pferde mit Lungenemphysem

Der inspiratorische Halbatemzug war überwiegend rechteckig ausgebildet und häufig zweigipflig. Der Flow-Anstieg zu Beginn der Inspiration war meist flacher als der Abfall am Ende des Halbatemzuges. Die expiratorische Atemkurve hatte häufig eine dreieckige Form mit dem Flowmaximum zu Beginn der Expiration und darauf flach auslaufendem Schenkel (Abb.19 Tr III A). - Bei kürzeren Atemzeiten traten bei der Inspiration auch rechteckige Formen mit zwei Gipfeln auf. Bei der Expiration waren die Atemkurven dann eher rund (Abb.19 Tr III B).

TRAB

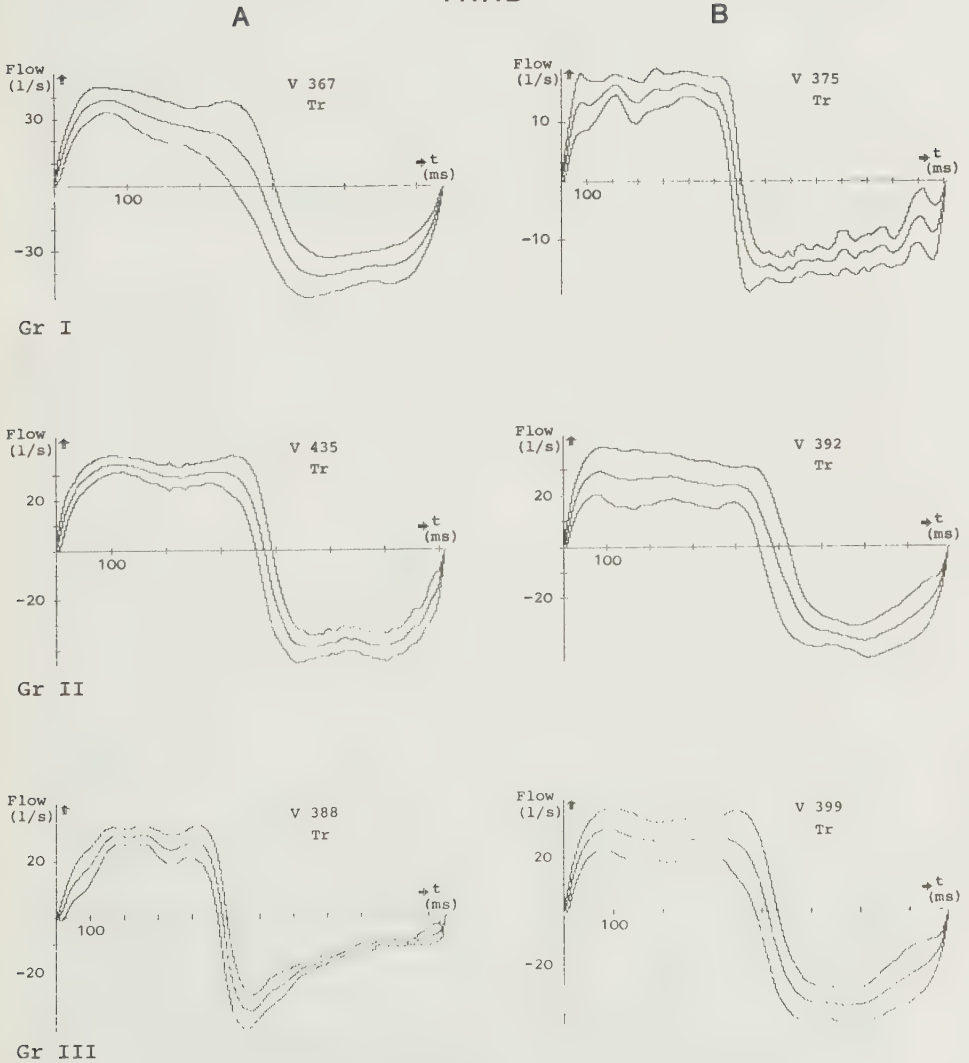


Abb.19: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Trab
A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
B: Ausnahmen, Besonderheiten

7.4 Atemformen im Galopp

- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

Beim inspiratorischen wie expiratorischen Halbatemzug trat überwiegend die rechteckige Form auf. Das meist ausgeprägte Plateau war häufig leicht abfallend. Teilweise kamen in der Expiration zweigipflige Atemkurven vor (Abb.20 Gal I A). - Abweichend davon kam auch die runde Form beim inspiratorischen Halbatemzug vor. Der zugehörige expiratorische Halbatemzug war in der Form annähernd dreieckig mit einem Flowmaximum zu Beginn der Expiration und einem zweiten niedrigeren Gipfel in der zweiten Hälfte der Atemkurve (Abb.20 Gal I B).

- Pferde mit Bronchitis

Der inspiratorische Halbatemzug war meist rund oder mehr oder weniger rechteckig. Die auf- und absteigenden Schenkel dieses Halbatemzuges waren etwa von gleicher Steilheit. Der expiratorische Halbatemzug war ebenso teils rund, teils rechteckig ausgebildet, wobei die Steilheit zu Beginn der Expiration häufig etwas größer war als gegen Ende des Halbatemzuges (Abb.20 Gal II A und B).

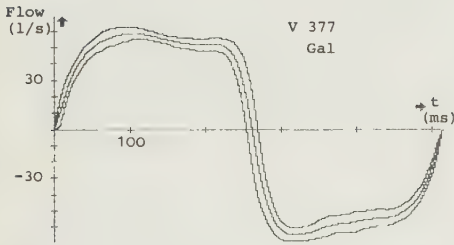
- Pferde mit Lungenemphysem

Bei der Inspiration kamen meist runde und nur annähernd rechteckige Formen vor. Der ansteigende Schenkel des inspiratorischen Halbatemzuges war nun häufig steiler als der abfallende Schenkel. Bei der Expiration war die eher rechteckige Form vorherrschend, jedoch meist mit abfallendem Plateau. Die Steilheit der expiratorischen Atemkurve war zu Beginn meist geringer als am Ende des Halbatemzuges (Abb.20 Gal III A). - Bei der expiratorischen Atemkurve wurde in einem Versuch auch die annähernd dreieckige Form erreicht, wobei das Flowmaximum wieder am Beginn des Halbatemzuges lag (Abb.20 Gal III B). Man beachte, daß es sich bei den beiden Abbildungen dieser Gruppe um Atemkurven desselben Pferdes handelt, die an verschiedenen Versuchstagen gewonnen wurden. Dabei wurde das Pferd zwischenzeitlich keiner Behandlung unterzogen. Abb.24 im Anhang zeigt die Gegenüberstellung der beiden Versuche dieses Pferdes im Stand sowie im Schritt und Trab.

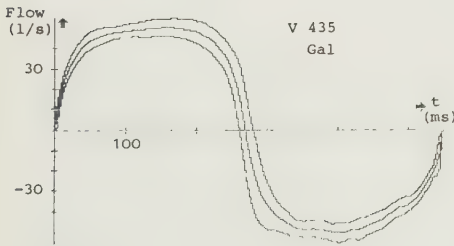
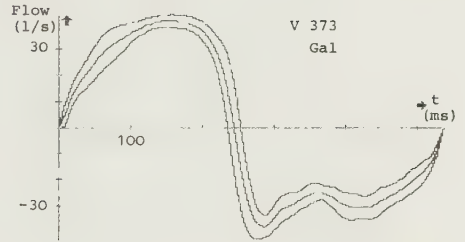
GALOPP

A

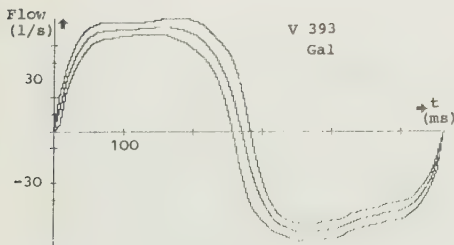
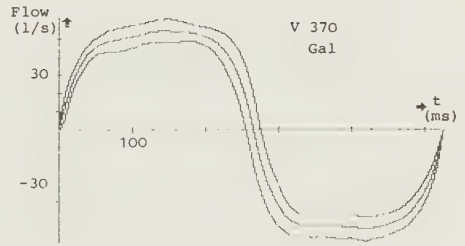
B



Gr I



Gr II



Gr III

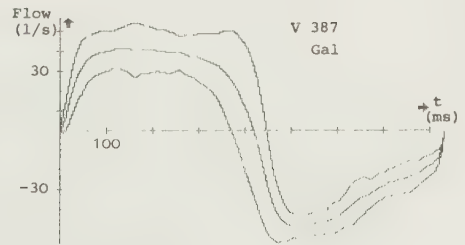


Abb.20: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Galopp
A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
B: Ausnahmen, Besonderheiten

7.5 Atemformen im Trab'

- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

In dieser Gangart wurden die Atemformen ziemlich einheitlich. Es traten nur Unterschiede in der Lage der Flow-Maxima auf. Sie waren in der Inspiration wie in der Expiration zu Beginn und am Ende des jeweiligen Halbatemzuges möglich. Beide Halbatemzüge waren überwiegend zweigipflig bei annähernd rechteckiger Atemform (Abb.21 Tr' I A und B).

- Pferde mit Bronchitis

Im Trab' konnte diese Gruppe nur von einem Versuch repräsentiert werden. Hierbei stellte sich der inspiratorische Halbatemzug rechteckig mit ausgeprägtem Plateau dar. Der expiratorische Halbatemzug war rechteckig mit abfallendem Plateau und ange-deutetem zweiten Gipfel in der zweiten Hälfte der Atemkurve (Abb.21 Tr' II A).

- Pferde mit Lungenemphysem

Der inspiratorische Halbatemzug war überwiegend rechteckig bis rund mit meist zwei gleichhohen Gipfeln. In gleicher Weise gestaltete sich auch der expiratorische Halbatemzug (Abb.21 Tr' III A).- Im Gegensatz dazu war wieder in Versuch 387 der inspi-ratorische Halbatemzug rund ausgebildet, und die expiratorische Atemkurve stellte sich dreieckig dar. Letztere hatte ein ausgeprägtes Flow-Maximum zu Beginn des Halbatemzuges und ein flaches Auslaufen (Abb.21 Tr' III B).

7.6 Atemformen im Schritt'

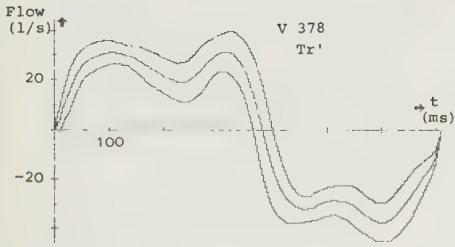
- Pferde ohne Symptome einer Lungenerkrankung

Der inspiratorische Halbatemzug gestaltete sich rund bis leicht rechteckig, teilweise auch mit zwei Gipfeln. Anstieg und Abfall der Atemkurve waren flach. Der expiratorische Halbatemzug war teils rechteckig mit abfallendem Plateau, teils annähernd dreieckig mit abgerundeter Spitze in der ersten Hälfte des Halbatemzuges. Bei der rechteckigen Form war in der zweiten Hälfte des expiratorischen Halbatemzuges ein kleiner zweiter Gipfel ausgebildet bzw. angedeutet (Abb.22 Schr' I A und B).

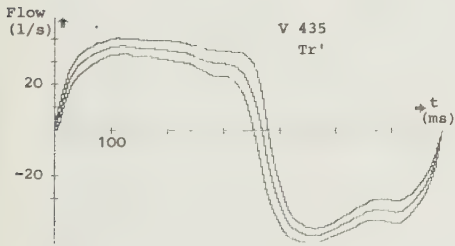
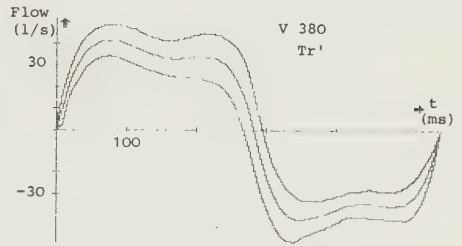
TRAB'

A

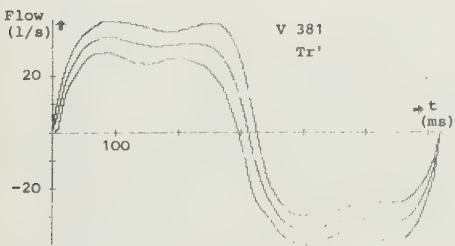
B



Gr I



Gr II



Gr III

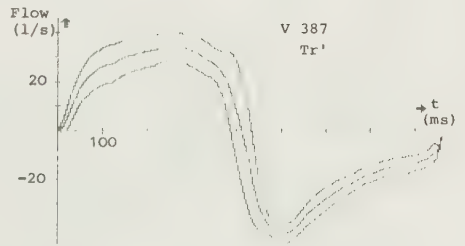


Abb.21: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Trab'
A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
B: Ausnahmen, Besonderheiten

SCHRITT'

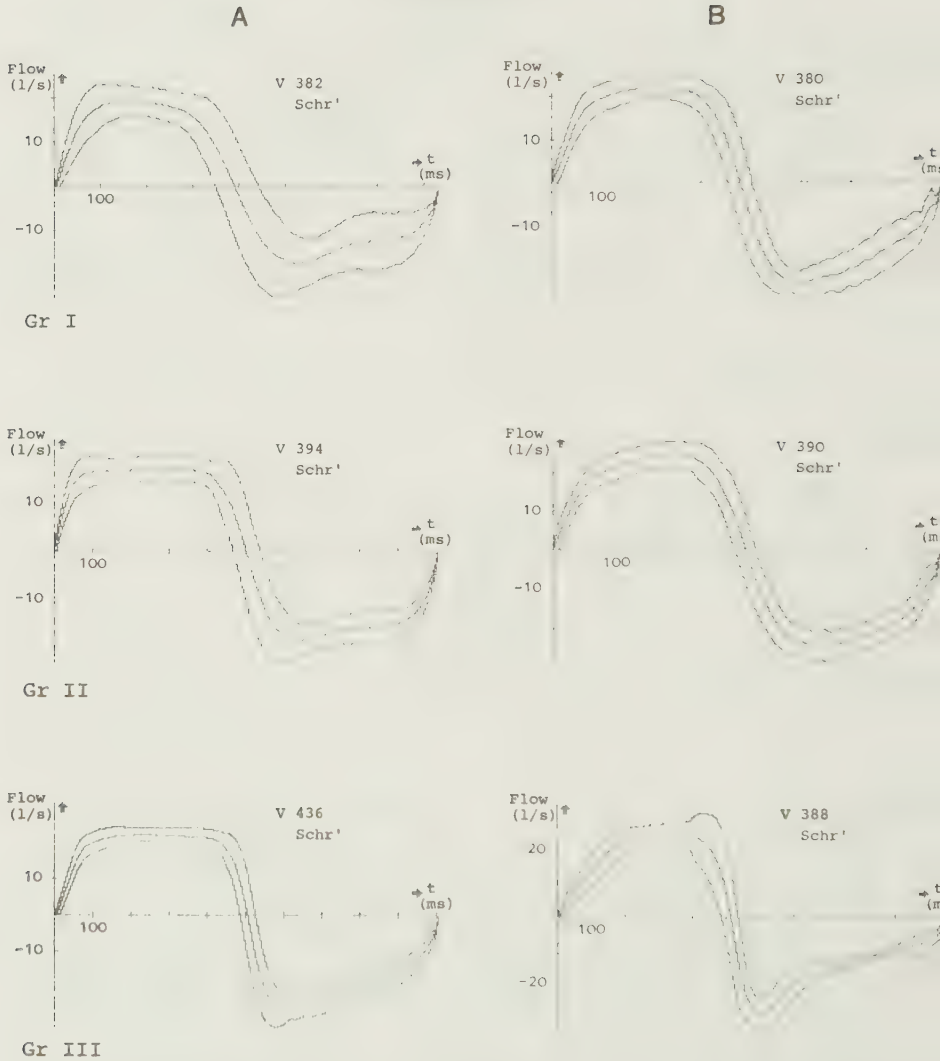


Abb.22: Mittlere Atemkurven mit Standardabweichung im Schritt'
A: für die jeweilige Gruppe repräsentative Atemform
B: Ausnahmen, Besonderheiten

- Pferde mit Bronchitis

Der inspiratorische wie der expiratorische Halbatemzug waren wieder entweder rund oder annähernd rechteckig ausgebildet. War die inspiratorische Atemkurve rund, so war meist der Anstieg flacher als der Abfall des Halbatemzuges. Die expiratorische Atemkurve verlief dann spiegelbildlich. Bei rechteckigen inspiratorischen Atemkurven verlief das Plateau häufig gerade. Bei der rechteckigen Form des expiratorischen Halbatemzuges fiel das Plateau zum Expirationsende hin ab (Abb.22 Schr' II A und B). Man beachte, daß es sich bei den beiden Abbildungen um Atemkurven desselben Pferdes handelt.

- Pferde mit Lungenemphysem

Der inspiratorische Halbatemzug war häufig rechteckig bis rund mit annähernd gleicher Steilheit der auf- und absteigenden Schenkel. Der expiratorische Halbatemzug war rechteckig mit stark abfallendem Plateau bis nahezu dreieckig. Es wurde immer ein Flowmaximum zu Beginn der Expiration ausgebildet (Abb.22 Schr' III A). In einigen Versuchen hatte die Inspiration eine runde bis eher dreieckige Form mit flachem Anstieg zu Beginn und steilem Abfall am Ende des Halbatemzuges. In der zugehörigen Expiration war die Dreiecksform mit ausgeprägtem Flowmaximum zu Beginn und konkavem, auslaufendem Schenkel vorherrschend (Abb.22 Schr' III B).

7.7 Vereinfachte 'Atemkurven'

Auch mit den Werten von Atemzeit, Maximalströmung und deren Zeitpunkt sowie von der Atemströmung nach 50 bzw. 25 ms Atemzeit lassen sich vereinfachte 'Atemkurven' darstellen (Abb.23). Bei dieser Art der Darstellung fällt zunächst ins Auge, wie gering der Unterschied in der Dauer der beiden Halbzyklen der Atmung während und nach der Belastung ist. Weiterhin ist leicht zu erkennen, daß der inspiratorische Maximalflow mit zunehmender Belastung bei Gruppe I nicht über die Fläche der expiratorischen Atemströmung hinausragt, während dies bei Gruppe III in allen Gangarten der Fall ist. Zudem kann festgestellt werden, daß die von der inspiratorischen und expiratorischen Atemströmung nicht gemeinsam ge-

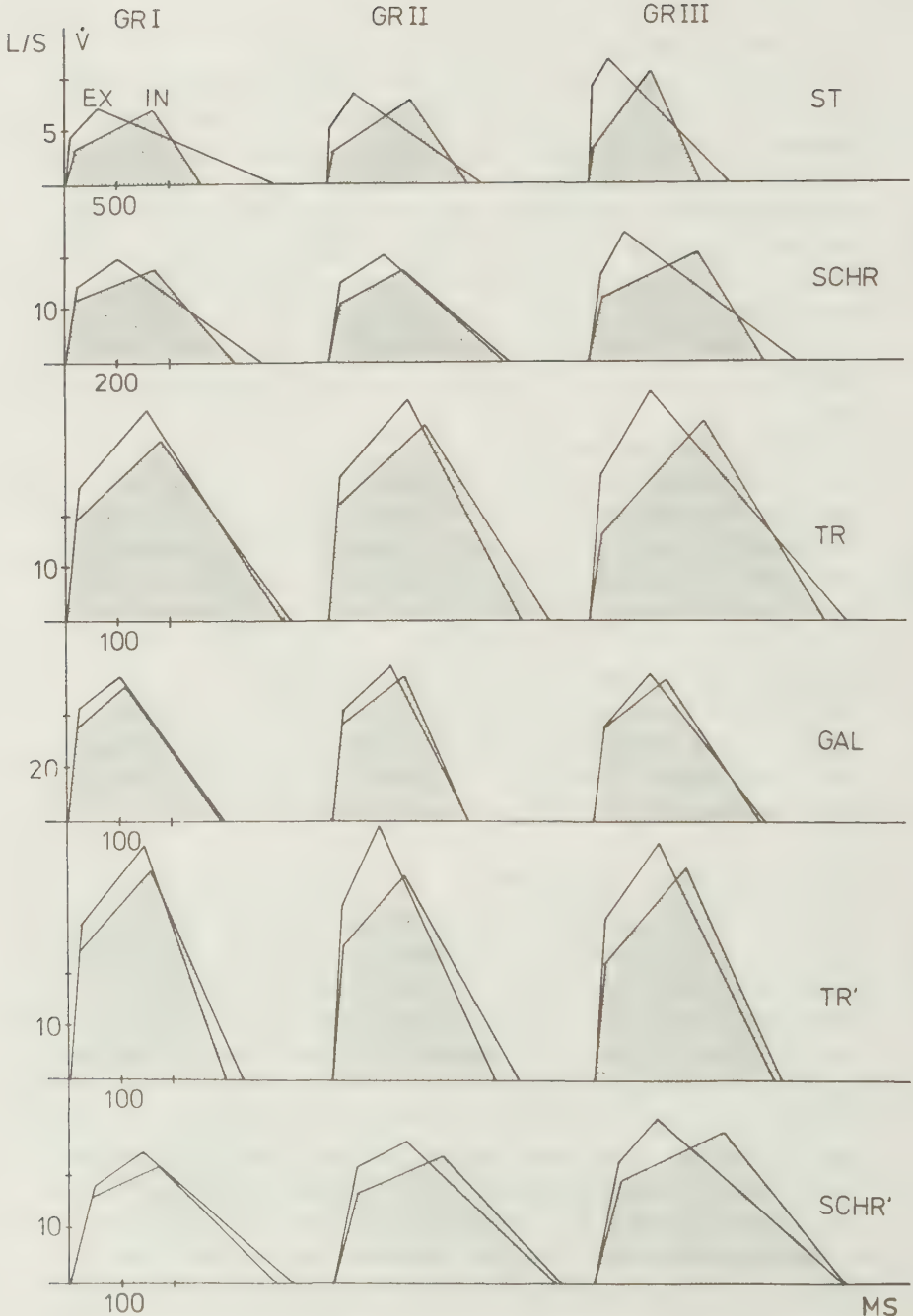


Abb.23: Vereinfachte 'Atemkurven' aus Atemzeit, Maximalströmung und Atemströmung nach 50 bzw. 25 ms

deckte Fläche mit zunehmender Gruppennummer - mit Ausnahme vom Stand - ansteigt. Dieser Befund deutet auf eine zunehmende Asymmetrie zwischen der inspiratorischen und expiratorischen Atemkurve bei den erkrankten Pferden hin.

IV. DISKUSSION

Alle bisherigen Untersuchungen der Atemströmung bei lungenkranken Pferden wurden in Ruhe gemacht. Die hier erstmalig bei diesen Pferden eingesetzte Technik der telemetrischen Übertragung von Strömungswerten, die mit einem für Erschütterungen unempfindlichen Meßfühler gewonnen wurden, bewegt sich daher auf Neuland. Vergleichswerte vom Pferd stehen noch nicht zur Verfügung. Die gewählte Methode hat sich nach den bisherigen Erkenntnissen bewährt. Sie liefert detailreiche Strömungswerte, aus denen durch die Computerauswertung mittlere Kurven erhalten werden können. Weiterhin können aus den übertragenen Kurven die Atemfrequenz, das Atemvolumen und die Atemzeiten für jeden Einzelatemzug wie auch als Mittelwerte errechnet werden.

In der vorliegenden Versuchsreihe konnten auch erstmals Atmungsparameter lungenkranker Pferde bei einer den Tieren gewohnten Belastung (kein Laufband) und ohne Sedation gemessen werden. Zwar mußte die Gleichförmigkeit der Versuchsabläufe durch diese Anordnung der Messungen eine gewisse Einbuße hinnehmen, doch schien dies im Hinblick auf eine relativ 'freie Atmung' akzeptabel. Zudem wurde die Atmung mit zunehmender Belastung gleichmäßiger, da sie offensichtlich dann immer mehr von inneren Regulationsmechanismen sowie vom Bewegungsablauf bestimmt wurde, und die äußeren Einflüsse zurücktraten. An dieser Stelle sei auch erwähnt, daß die Galoppwerte - wie auch meist die Trabwerte nach dem Galopp - allgemein häufig aus der Reihe fielen. Dies könnte nun durchaus an der geringen Anzahl an Werten liegen, die in diesen Gangarten nur zur Verfügung standen. Doch es wäre auch möglich, daß durch die Synchronisation von Atmung und Fußung, die gerade in diesen Gangarten häufig auftrat, andere Gesetzmäßigkeiten der Atemmechanik ins Spiel kommen. Es wäre deshalb

sicher lohnenswert, weitere Untersuchungen in Richtung dieser Hypothese zu unternehmen.

Neben der aufwendigen und in einigen Teilen doch noch recht empfindlichen Versuchsapparatur stellte die Hauptproblematik dieser Untersuchungen die Zusammenstellung der Pferde in den einzelnen Gruppen dar. Unter den Oberbegriffen 'Bronchitis' und 'Bronchitis mit Lungenemphysem' mußten doch recht diverse Krankheitsbilder bezüglich Ursache, Dauer, Chronizität, akuten Schüben und Behandlungsstand untergebracht werden. Aufgrund von eingeschränkten Versuchsperioden konnten nur diejenigen Pferde zu den Untersuchungen herangezogen werden, die sich zu den jeweiligen Zeitpunkten gerade in der Klinik befanden. Um den Klinikbetrieb nicht zu beeinträchtigen, konnte von Seiten der betreuenden Tierärzte auf den Behandlungsstand des jeweiligen Patienten zum Versuchszeitpunkt keine Rücksicht genommen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde das untersuchte Patientenmaterial deshalb grob in zwei Gruppen unterteilt, wobei als einziges Unterscheidungsmerkmal das Lungenemphysem diente: Pferde mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung ohne Lungenemphysem (Gruppe II) bzw. mit Lungenemphysem (Gruppe III). - Somit können in der vorliegenden Arbeit nur Aussagen darüber gemacht werden, inwieweit sich die Atemgrößen verändern von lungengesund zu lungenkrank bzw. von lungenkrank ohne Lungenemphysem zu lungenkrank mit Lungenemphysem. Da zunächst nur diejenigen Parameter gefunden werden sollten, die sich bei der Diagnosestellung von Lungenerkrankungen als hilfreich versprechen, kann die vorgenommene Einteilung akzeptiert werden. - Auch die statistischen Berechnungen sollten aufgrund der teilweise zu geringen Datenmengen nur zur Trendfindung dienen.

Aus den Werten von Geschwindigkeit, Schrittfrequenz und Herzschlagfrequenz ließ sich erkennen, daß bezüglich der Belastung sowohl in physischer wie auch in psychischer Beziehung außer zwischen den Gruppen I und III im Schritt und Schritt keine nennenswerten Unterschiede zwischen den drei Gruppen bestanden. Sofern bei den Atemgrößen signifikante Unterschiede nur in den genannten Gangarten zwischen den Gruppen I und III auftraten, wurde dies auf die Belastungsdifferenz zurück-

geführt. Die Leistungsfähigkeit bzw. der Trainingszustand, der im Stufentest in etwa abzuschätzen war, nahm mit zunehmender Gruppennummer ab. Da die Pferde aus den Gruppen II und III alle mindestens drei Monate erkrankt waren und dabei nur wenig bewegt wurden, müssen die schlechteren Werte dieser Gruppen teilweise auch auf eine Konditionseinbuße zurückgeführt werden.

Bei allen drei untersuchten Gruppen waren die Werte für die Atemfrequenz im S t a n d mit 22 Atemzügen pro Minute relativ hoch. Es stellen dies demnach keine 'echten' Ruhewerte dar, da die Pferde trotz schonendstem Umgang die fremden Personen, die teilweise ungewohnte Umgebung und nicht zuletzt auch die gesamte Versuchsanlage nicht völlig reaktionslos hinnahmen. Da die Versuche zudem im Freien stattfanden, kamen zu den versuchsbedingten ungewohnten Einflüssen auch ganz natürliche Reize aus der Umgebung hinzu, die von den Pferden je nach Temperament mit mehr oder weniger starker Erregung - und damit endogener Adrenalin ausschüttung - beantwortet wurden. Da echte Ruhewerte beim nicht sedierten Pferd nur schwer zu erhalten sind, und da es fraglich ist, ob Atemgrößen des sedierten Pferdes als echte Ruhewerte bezeichnet werden können, ist es nicht verwunderlich, daß bisher der Atemfrequenz von vielen Autoren keine diagnostische Bedeutung zugemessen wurde. Auch nach den eigenen Messungen konnten vor der Belastung im Gruppendurchschnitt keine Unterschiede in der Atemfrequenz mit zunehmendem Erkrankungsgrad festgestellt werden. Dies steht im Gegensatz zu den meisten bisherigen Angaben über Atemfrequenzwerte in der Literatur: bei Lungenerkrankungen wurde eine Erhöhung der Atemfrequenz mit zunehmendem Erkrankungsgrad angegeben.

Mit zunehmender B e l a s t u n g nahm bei den eigenen Untersuchungen die Streuung der Werte in allen Gruppen deutlich ab. Dies kann als Hinweis dafür gelten, daß die äußeren Einflüsse auf die Atmung mehr und mehr zurücktraten und damit vorwiegend innere Regulationsmechanismen zum Ausdruck kamen. - Weiterhin zeigte sich nun die Tendenz, daß die Pferde mit Bronchitis wie auch besonders die Pferde mit zusätzlichem Lungenemphysem im Gruppendurchschnitt mit niedrigerer Atemfrequenz

atmen als die Kontrolltiere (signifikant im Trab zwischen den Gruppen I und III und zwischen den Gruppen II und III). Diese Tendenz blieb auch dann bestehen, wenn der Einfluß der Umgebungstemperatur auf die Atemfrequenz berücksichtigt wurde. - In der abfallenden Belastung konnten zu Beginn noch einheitlichere Gruppendurchschnittswerte erhalten werden, bei erhaltener Tendenz zu niedrigeren Werten für die Atemfrequenz bei den erkrankten Tieren.

Cherniack (1971) gibt an, daß die Dehnbarkeit der Lunge bei Veränderungen der peripheren Lungeneinheiten mit der Erhöhung der Atemfrequenz kleiner wird. Auch bei erhöhtem Strömungswiderstand der zuführenden Atemwege werden die nachfolgenden Lungenabschnitte nur dann ausreichend belüftet, wenn mit niedriger Atemfrequenz geatmet wird. Da bei obstruktiven Lungenkrankungen eine Atemfrequenzerhöhung somit hauptsächlich nur eine Belüftung von anatomischem und physiologischem Totraum der Lunge - also Bezirken ohne Gasaustausch - mit sich bringt, ist die niedrigere Atemfrequenz (bei höherem Atemvolumen) für den Organismus effektiver. - Der Befund läßt sich auch durch die Regulationsmechanismen der Atmung erklären: bei verminderter Dehnbarkeit der Lunge bzw. bei Stenosen in den zuführenden Atemwegen wird die Lunge unzureichend oder verlangsamt gefüllt. Dadurch werden die Dehnungsrezeptoren, die über den Hering-Breuer-Reflex eine Beendigung der Einatmung bewirken, nicht bzw. später erregt. Vermutlich besteht auch eine Wechselwirkung zwischen Dehnungs- und Chemorezeptoren, sodaß bis zu einer gewissen Grenze die Chemorezeptoren das Atemzentrum stärker beeinflussen können als die Dehnungsrezeptoren. Ein hoher hypoxischer oder hypercapnischer Chemorezeptorentonus erhöht die Schwelle für den Hering-Breuer-Reflex, um durch eine vermehrte Lungenbelüftung einen ausreichenden Gasaustausch sicherzustellen. Dies ist bei der verminderten Austauschfläche in der Lunge erst bei genügender Füllung bzw. auch Verlegung der Atemmittellage in den Bereich des inspiratorischen Reservevolumens gewährleistet. Insgesamt bedeutet dies längere Atemzeiten bei höheren Volumina (siehe auch dort) und damit eine niedrigere Atemfrequenz.

In der Literatur wird für die R u h e a t m u n g überwiegend eine Verringerung des Atemvolumens bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen angegeben. Nach den eigenen Messungen konnte jedoch im Stand eine deutliche Zunahme des Atemvolumens bei den Pferden mit Bronchitis wie auch besonders bei den Pferden mit Lungenemphysem gegenüber der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen stellten sich dabei signifikant dar und betrugen 1.3 l zwischen den Gruppen I und II und 2.1 l zwischen den Gruppen I und III.

Diese bei Ruhe gefundenen Differenzen im Atemvolumen wurden mit zunehmender B e l a s t u n g nahezu exakt beibehalten. Lediglich im Galopp waren geringere Unterschiede zwischen den Gruppen zu vermerken. - In der abnehmenden Belastung waren die bei Ruhe festgestellten Differenzen zwischen den Gruppen im Schritt nach Belastung wieder in ausgeprägtem Maße erreicht. - Im Falle des Atemvolumens bestätigte die Belastung die im Stand erhaltenen Ergebnisse, konnte aber keine zusätzlichen Erkenntnisse liefern. Auch wurde die Streuung der Werte im Laufe der einzelnen Belastungsstufen nicht nennenswert vermindert.

Die für die Atemtiefe mit zunehmendem Erkrankungsgrad gefundenen Veränderungen waren nach der entsprechenden Verringerung der Atemfrequenz zu erwarten. Die möglichen Gründe sind deshalb schon im vorausgegangenen Abschnitt teilweise angesprochen worden. Bei der Bronchitis werden die Atemwege teils durch entzündliche Schwellung der Bronchialschleimhaut, teils durch die infolge Dyskrinie vermehrten und zudem zähen Schleimmassen verlegt. Die dadurch bedingte Stenose bewirkt eine Verzögerung bei Ein- und Ausatmung. Bei der Ausatmung kann es dann leicht zu einer (noch reversiblen) Überdehnung der Alveolen kommen, da die Luft unter relativ großem Druck aktiv herausgepreßt wird. Dies führt dann wieder zu veränderten (verschlechterten) Gasaustauschverhältnissen, da bei diesem Vorgang nicht nur die Alveolen, sondern auch die Durchblutung des Lungenparenchyms in Mitleidenschaft gezogen wird. - Beim Lungenemphysem, das sich meist aus einer Bronchitis, die nicht zur Ausheilung kommen konnte, entwickelt, sind die oben beschriebenen Verhältnisse 'nur' insofern verändert, daß nun

Alveolenwände irreversibel zerrissen sind. Dadurch hat sich die für den Gasaustausch zur Verfügung stehende Fläche weiter verkleinert.

Allgemein liegt bei diesen Erkrankungen ein mehr oder weniger vergrößerter physiologischer - oder in diesem Falle besser - pathologischer Totraum vor, um den die Lunge bei jedem Atemzug vermehrt gefüllt werden müßte, um den Gasaustausch zu ermöglichen, der im gesunden Zustand der Lunge notwendig war. Diese kompensatorische Veränderung der Atemmechanik kann natürlich nur bis zu einem gewissen Grenzwert durchgeführt werden. Jenseits dieses hypothetischen Grenzwertes wird die Atemarbeit größer als der Effekt (Gasaustausch). Außerdem schützt sich der Organismus vor Überdehnung des Lungengewebes bei der Inspiration. Man könnte diesen Grenzwert durch die gleichzeitige Registrierung von Blutgaswerten ermitteln. Sobald der PO_2 im arteriellen Blut unter 82 mmHg (Breeze, 1979) absinkt, sind die kompensatorischen Maßnahmen des Organismus erschöpft.

Das Atemminutenvolumen von 104 l/min im S t a n d bei Tieren ohne Symptome einer Lungenerkrankung und von 151 l/min bei Tieren mit Lungenemphysem liegt im Bereich der in der Literatur angegebenen Daten. Während jedoch die meisten Autoren das höhere Atemminutenvolumen der lungenkranken Pferde auf die höhere Atemfrequenz zurückführen, geht dies nach den eigenen Messungen vor allem auf das höhere Atemvolumen zurück.

Nach den eigenen Messungen scheinen die Atemzeiten als solche durch ihre hohe Variabilität nur eine geringe Aussagekraft zu besitzen. Dagegen kann das Verhältnis von TE zu TI, also der Atemzeitquotient (AZQ), offensichtlich Anhaltspunkte für den Erkrankungsgrad liefern.

Bei den Messungen im S t a n d stellte sich heraus, daß Pferde mit Bronchitis - einer meist gemischten Dyspnoe - im Gruppendurchschnitt einen AZQ von 1.09 besitzen. Pferde mit zusätzlichem Lungenemphysem - einer vorwiegend expiratorischen Dyspnoe - hatten dagegen in Ruhe einen AZQ von 1.20. Den höchsten Wert für den AZQ in Ruhe hatten im Gegensatz zu den überwiegenden Angaben in der Literatur die gesunden Pferde mit 1.30. In allen drei Gruppen übertraf somit die Ausatem-

zeit die Einatemzeit an Länge, wobei dies ausgeprägt in den Gruppen I und III vorkam. Während dies jedoch bei den lungen-gesunden Pferden aus dem überwiegend passiven Charakter der Ausatmung herzuleiten ist, und auch aus der Tatsache, daß sich diese Pferde in Ruhe eine ausgeprägte Atempause leisten können (diese wird vom Computer der Expirationszeit zuge-rechnet), drückt sich bei den Pferden mit Lungenemphysem da-mit die Anstrengung aus, mit der die Luft aus den Lungen ge-preßt werden muß.

Die für den Stand beschriebenen Befunde änderten sich bei B e l a s t u n g insofern, daß sich bei den Pferden mit Bron-chitis nun durchweg ein AZQ kleiner 1 einstellte, der sich überwiegend signifikant von den übrigen beiden Gruppen ab-grenzen ließ. Die Pferde mit Lungenemphysem hatten bei Be-lastung die höchsten Werte für den AZQ aufzuweisen. Er lag bei dieser Gruppe mit Ausnahme des Trab nach Galopp immer über 1. Eine Abgrenzung zu den Werten für den AZQ der Grup-pe I war hier nicht signifikant möglich. Der AZQ bei Belas-tung ermöglichte somit die Differenzierung der Pferde mit Bronchitis von denen der Kontrollgruppe wie auch von den Pfer-den mit Lungenemphysem.

Die Differenzierung Bronchitis-Lungenemphysem ließ sich noch deutlicher in der Abhängigkeit AZQ-Atemfrequenz darstellen. Die von Spörri (1971) gefundene Beziehung zwischen AZQ und Atemfrequenz für Ruhewerte konnte bei den eigenen Messungen auch unter Belastung bestätigt werden: mit zunehmender Be-lastung - und damit auch zunehmender Atemfrequenz - wurde der AZQ im Mittel bei allen drei Einstufungsgruppen kleiner. Da-bei setzten sich die Gruppen II und III im Stand, Schritt und Trab deutlich voneinander ab. Überraschend war der Befund, daß innerhalb einer Gangart der AZQ mit zunehmender Atemfre-quenz durchaus auch zunehmen kann. Da dies vor allem in den höheren Gangarten stattfand, könnte eventuell auch hier die Gliedmaßenbewegung einen Einfluß auf die Atmung ausüben. Die-ser oder andere Zusammenhänge müßten jedoch in speziellen Untersuchungen aufgeklärt werden.

Obgleich auch in Gruppe III die Ausatemphase außer im Trab' immer länger war als die Einatemphase, war das Kleinerwerden des AZQ mit zunehmender Atemfrequenz vor allem auf Kosten

der Expirationszeit zurückzuführen (aus den Atemzeitdifferenzen zwischen den verschiedenen Gangarten abgeleitet). Anhand der prozentualen Atemzeitdifferenzen fiel auch auf, daß der Abfall von TI wie auch TE mit zunehmender Belastung bei den Pferden mit Lungenemphysem relativ langsamer vor sich ging und nicht das Ausmaß erreichte wie bei den anderen beiden Gruppen. Wie schon im Abschnitt über die Atemvolumina beschrieben, müssen Pferde mit Lungenemphysem wegen der geringeren Austauschfläche ihre Lungen vermehrt füllen. Diese Aussage konnte auch bei der Gegenüberstellung von VI und TI in Anlehnung an Kay et al. (1974) bestätigt werden: mit zunehmender Erkrankung der Lungen werden bei gleicher Atemzeit größere Volumina befördert. Dies bedeutet aber in Vorwegnahme des folgenden Abschnittes höhere Strömungswerte für diese Tiere.

Nach den eigenen Messungen haben Pferde mit einer Lungenerkrankung im S t a n d sowohl in der Inspiration wie auch in der Expiration höhere mittlere wie auch maximale Atemströmungen als die Kontrollgruppe. Die Unterschiede zwischen den Gruppen konnten nur im Falle der Maximalströmungen signifikant nachgewiesen werden. Beim Vergleich der mittleren Atemströmungen mit einigen entsprechenden Werten aus der Literatur, kann bei etwas höheren eigenen Strömungswerten im Trend überwiegend Übereinstimmung vermerkt werden:

Autor	gesund		lungenkrank	
	VI	VE	VI	VE
Gillespie et al. (1966)	217 l/min	200 l/min	315 l/min	213 l/min
Gillespie, Tyler (1969)	212	208	293	235
Muyllé, Oyaert (1973)	190	152	267	202
eigene Werte (1986)	264	240	318	294

Bei zunehmender B e l a s t u n g wurden die Unterschiede in der mittleren Atemströmung zwischen den Gruppen I und III geringer, während sie zwischen den Gruppen I und II weitgehend erhalten blieben. - Im Verlauf der abnehmenden Belastung wurden wieder die Ausgangsverhältnisse der Atemströmungen erreicht.

Die Ursache für niedrigere Atemströmungen bei Pferden mit chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen vermuteten Willough-

by und McDonell (1979) in der dynamischen Kompression der Atemwege bei angestrenzter Ausatmung. Die damit verbundene verlängerte Expirationsdauer läßt das Verhältnis Expirationszeit zu Inspirationszeit (AZQ) größer werden. Diese für Ruhewerte aufgestellte Vermutung trifft aber meineserachtens vor allem bei Belastung und nach den Messungen vor allem beim Lungenemphysem zu.

Das bisher Gesagte läßt auf eine strenge Abhängigkeit der verschiedenen Atemgrößen voneinander schließen. Man kann daraus folgern, daß die mittlere Atemströmung - d.h. die pro Zeiteinheit während eines (Halb-)Atemzuges beförderte Luftmenge - eine Schlüsselrolle spielt. Sie bestimmt die jeweiligen Atemzeiten, und diese wiederum setzen die Atemfrequenz fest. In umgekehrter Richtung dieser Rangfolge wird die Atemströmung komplex durch die Atemwegswiderstände, die Elastizität des Lungengewebes, die Kraft der Atemmuskulatur und durch zentral einwirkende Regulationsmechanismen gestaltet.

Die von McNeill et al. (1959) für den Menschen aufgestellte Aussage, daß bei höherer maximaler inspiratorischer als expiratorischer Atemströmung ein Lungenemphysem zu erwarten sei, kann nach den eigenen Messungen für Pferde nicht bestätigt werden. Die maximalen Atemströmungen waren zwar im Gruppendurchschnitt immer so verteilt, daß VE_{Max} größer war als VI_{Max} , doch es gab nicht nur in Gruppe III sondern auch in Gruppe I einzelne Pferde, bei denen dieses Verhältnis in einigen Gangarten - teilweise regelmäßig - umgekehrt war.

Aufgrund der Versuchsanordnung konnten bei den eigenen Messungen - bis auf vereinzelte Atemzüge - nicht die sonst üblichen Maximalen Expiratorischen Flow-Volumen-Schleifen erfaßt werden. Es wurden dafür Mittlere Expiratorische Flow-Volumen-Schleifen aufgezeichnet. Dennoch stellten sich aber die geringen Ausdehnungsreserven sowohl im Volumen bei den an Bronchitis erkrankten Pferden, wie auch im Volumen und Flow bei den Pferden mit Lungenemphysem dar. Außerdem konnte gezeigt werden, daß der Flow nach der Ausatmung der Hälfte des eingeatmeten Volumens bei den an Bronchitis erkrankten Pferden relativ zum Maximalflow über, und bei den zusätzlich

an Lungenemphysem erkrankten Tieren unter dem Wert der gesunden Tiere lag. Auch beim Vergleich der Atemschleifen bei verschiedenen Belastungsstufen wurde deutlich, daß bei den Pferden mit Lungenemphysem der auslaufende Schenkel der expiratorischen Seite näher an denjenigen der vorausgehenden Belastungsstufe heranreicht als bei den gesunden Pferden, und insbesondere bei den an Bronchitis erkrankten Tieren.

Beim Lungenemphysem wurde der rapide Flowabfall mehrfach durch die dynamische Kompression der Atemwege erklärt, die durch den massiven Druck der Atemmuskulatur auf das unelastische und sich schlecht entleerende Lungenparenchym entsteht. Bei den an Bronchitis erkrankten Tieren scheint die Atemströmung durch die Erkrankung weniger stark beeinträchtigt zu sein. Hier sind vorwiegend die mit Knorpel verstärkten cranialen Atemwege betroffen, und eventuell sind auch die entzündlich verdickten Bronchien widerstandsfähiger gegenüber dem Druck des Lungengewebes. Doch wäre auch hier - besonders beim Vorliegen von entzündlichem Exsudat und damit zusätzlicher Verlegung der Atemwege und sogenanntem Air-Trapping - ein Flowabfall denkbar.

Immer wieder konnte allgemein festgestellt werden, daß die lungenkranken Pferde - und hier wieder insbesondere die Pferde mit Lungenemphysem - sowohl innerhalb einer Belastungsstufe wie auch mit zu- oder abnehmender Belastung ihre Atemgrößen wesentlich weniger variieren konnten als die gesunden Tiere. Offensichtlich müssen durch die pathologischen Veränderungen die inneren Regulationsmechanismen strenger eingehalten werden, da die Kompensationsmöglichkeiten bzw. Reserven verringert sind und somit kein Spielraum für uneffektives Atmen bleibt.

Die Darstellung des Strömungsverlaufes - also die Atemformen - machte die geringe Streuung der Atemzüge in der zu- und abnehmenden Belastung sichtbar, lieferte jedoch nicht die erwarteten deutlichen Unterscheidungsmerkmale zwischen lungen- und lungenkranken Pferden. Lediglich bei der dreieckigen Expirationsform mit hohem anfänglichen Peak und konkavem Auslaufen der Atemströmung kann auf ein Lungenemphysem geschlos-

sen werden. Zeigte ein Pferd im Stand diese 'emphysemtypische' Form, so wurde diese auch in allen Belastungsstufen mehr oder weniger ausgeprägt beibehalten. Wurde diese Atemform im Stand nicht gezeigt, so konnte sie auch unter Belastung nicht provoziert werden. Wie schon Spörri (1971) darauf hinwies, gibt es bei den Pferden mit einem Lungenemphysem durchaus auch solche, die diesen hohen Anfangspeak nicht zeigen. Nach den eigenen Untersuchungen muß dazu aber noch hinzugefügt werden, daß diese beiden Atmungstypen offenbar auch bei ein und demselben Pferd auftreten können, wie am Beispiel des Pferdes C1.1 (V 387 und V 393) zu sehen ist (Abb.24 im Anhang). Es müssen demnach nicht nur die Art der Erkrankung und der Schweregrad des Emphysems bei der Gestaltung der Atemkurven eine Rolle spielen, sondern wahrscheinlich auch äußere Einflüsse sowie innere Reaktionen mit berücksichtigt werden, soweit dies überhaupt möglich ist. Für die äußeren Einflüsse kommen vor allem Staub bzw. Allergene in der Atemluft sowie eventuell auch klimatische Einwirkungen in Betracht. Bei den inneren Reaktionen, die im Grunde häufig die Folge von äußeren Einflüssen darstellen, muß beispielsweise an die bronchodilatatorische Wirkung von Adrenalin bei Erregungszuständen ebenso gedacht werden wie an die bronchokonstriktorische Wirkung des Histamin bei allergischen Reaktionen. Solange nicht der Gehalt und die genaue Wirkungsweise aller Affektoren auf die Atemwege und das Lungengewebe bekannt sind, wird es schwer bleiben, die Patienten aufgrund des Verlaufes ihrer Atemströmung einer bestimmten Krankheitsgruppe zuzuordnen. Hinzu kommt die Schwierigkeit der objektiven Beurteilung von Atemkurven. Diese ist nur durch die Bestimmung und den Vergleich bestimmter fest definierbarer Punkte auf der Atemkurve möglich. Wie schon erwähnt, wurde in dieser Arbeit versucht, diese Forderung durch die Bestimmung des Maximalflows und dessen Lage sowie der Anfangsteilheit eines Halbatemzuges aus dem Flow nach einer festgesetzten Atemzeit zu erfüllen. - Bezüglich der Lage des Flowmaximums kann nach den eigenen Untersuchungen bestätigt werden, daß bei Pferden mit Lungenemphysem das expiratorische Flowmaximum in nahezu allen Gangarten am frühesten erreicht wird. Das inspiratorische Flowmaximum

wird bei dieser Gruppe (III) in den meisten Gangarten am spätesten erreicht. - Die Ermittlung der Flowwerte 50 bzw. 25 ms nach Beginn eines Halbatemzuges war ein Versuch, die Anfangsteilheit eines Halbatemzuges in Zahlen auszudrücken. Die gewählte Methode liefert jedoch nur dann sinnvolle Werte, wenn der Flow zu Beginn des jeweiligen Halbatemzuges ohne starke Schwankungen ansteigt. Diese Bedingung ist für den expiratorischen Halbatemzug überwiegend erfüllt. Beim inspiratorischen Halbatemzug kommen jedoch häufiger Anfangsschwankungen vor, sodaß hier eine Fehlermöglichkeit gegeben ist, und dadurch eventuell die große Streuung der Ergebnisse erklärt werden kann. Mit dieser Auswertemethode konnte aber zumindest die Tendenz aufgezeigt werden, daß in den meisten Gangarten die Pferde aus Gruppe III zu Beginn der Expiration die höchste Anfangsteilheit aufweisen. Dies spricht in Verbindung mit dem hohen Flowmaximum zu Beginn des expiratorischen Halbatemzuges für die übermäßige Anspannung, unter der das geschädigte Lungengewebe zum Ende der Inspiration bzw. zu Beginn der Expiration steht.

Schlußfolgerungen

Die in der Einleitung gestellten Fragen können wie folgt beantwortet werden:

- Die klinisch gestellte Diagnose kann objektiviert werden durch Abweichungen
 - des Atemvolumens
Im Stand, Schritt und Trab hatten die lungenkranken Tiere signifikant höhere Werte als die lungengesunden.
 - bei der Gegenüberstellung von TI und VI
Im Stand, Schritt und Trab hatten die lungenkranken Pferde bei gleicher Atemzeit deutlich höhere Volumina als die Kontrollgruppe.
 - bei den Flow-Volumen-Schleifen
Im Stand sowie im Schritt, Trab und Galopp stellten sich die geringeren Ausdehnungsreserven bei Bronchitis vor allem im Volumen, bei Emphysem auch zusätzlich im Flow dar.

- bei der Gegenüberstellung von Atemströmung und Atemzeit
Bei In- und Expiration im Schritt, Trab und Galopp hatten die Pferde mit Lungenemphysem gegenüber den lungengesunden Pferden bei sich entsprechender mittlerer Atemströmung deutlich höhere Atemzeiten.
- des Atemzeitquotienten (AZQ)
Im Stand sowie in allen Belastungsstufen war der AZQ der Pferde mit Bronchitis signifikant niedriger als bei den gesunden Pferden und auch bei den Pferden mit Lungenemphysem.
- Während die beiden letztgenannten Punkte schon eine Diagnose bezüglich des Schweregrads der Lungenerkrankung ermöglichen, sind für die Differenzierung von Bronchitis und Lungenemphysem besonders auch folgende Atemgrößen bzw. Beziehungen von Bedeutung:
 - die Gegenüberstellung von Atemzeitquotient und Atemfrequenz
Im Stand, Schritt und Trab hatten die Pferde mit Bronchitis bei gleicher Atemfrequenz einen deutlich niedrigeren AZQ als die Pferde mit Lungenemphysem.
 - die Lage der Maximalströmung
Im Schritt und Trab wurde das inspiratorische Flowmaximum bei den Pferden mit Lungenemphysem wesentlich später, und das expiratorische Flowmaximum deutlich früher (jeweils signifikant) erreicht als bei den Pferden mit Bronchitis.
- Die Atemform kann nur beim Auftreten des dreieckigen und konkav auslaufenden Expirationstyp zur Diagnose des Lungenemphysems beitragen. Jede andere Form des expiratorischen Halbatemzuges kann ein Lungenemphysem jedoch nicht ausschließen.
- Zahlreiche der oben genannten Abweichungen von Atemgrößen bei Lungenerkrankungen konnten nur aufgrund der aufsteigenden Belastungsart gefunden werden. Die Belastung im Schritt und Trab erwies sich dabei als besonders bedeutsam. Die Belastung im Galopp brachte häufig Ausreißerwerte und hat sich deshalb nicht bewährt. Auch die abfallende Belastung brachte keine wesentlichen neuen Erkenntnisse.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit geht von der Hypothese aus, daß obstruktive Atemwegserkrankungen im Pneumotachogramm bei körperlicher Belastung deutlicher erkennbar sein sollten als in Ruhe. In 21 Versuchen an 13 Pferden wurden EKG und Atemgasströmung telemetrisch gemessen. Die Pferde waren drei Gruppen zugeordnet: I. 'Ohne Symptome einer Lungenerkrankung' (4 Tiere), II. 'Chronische Bronchitis' (5 Tiere), III. 'Chronische Bronchitis mit Lungödem' (4 Tiere). Sie wurden in Ruhe und während je 5 Minuten Belastung in Schritt, Trab und Galopp an der Longe ohne Reiter getestet. Aus den auf Magnetband abgespeicherten Strömungswerten konnten mithilfe spezieller Computerprogramme folgende Atemgasparameter für jede einzelne Inspiration und Expiration ermittelt werden: Dauer, Volumen, Atemgasströmung nach einer festgesetzten Zeit und maximale Atemgasströmung und ihre Lage im Halbzyklus. Für jede Belastungsstufe wurden außerdem die Steady-State-Werte von Atemgasfrequenz, Atemzeitquotient und mittlerer Atemgasströmung berechnet.

Infolge ihrer verminderten Leistungsfähigkeit hatten die Pferde der Gruppen II und III bei allen Geschwindigkeiten höhere Herzschlagfrequenzen als die Kontrollpferde. Außerdem waren bei den kranken Pferden die Atemfrequenz niedriger und dafür die Atemtiefe und die inspiratorische Strömungsgeschwindigkeit höher. Der Atemzeitquotient (Exp./Insp.) war negativ mit der Atemfrequenz korreliert; bei den bronchitischen Pferden (Gr.II) lag er bei allen Atemfrequenzen niedriger als bei den anderen beiden Gruppen. Auch durch die Darstellung Atemtiefe gegen Inspirationszeit und Atemzeit gegen Atemgasströmung ließen sich die Versuchsgruppen differenzieren. Die Messung des Pneumotachogramms während körperlicher Belastung kann somit wichtige, über die Ruhewerte hinausgehende diagnostische Erkenntnisse liefern.

VI. SUMMARY

Telemetric studies about respiratory parameters in horses with bronchitis and pulmonary emphysema at rest and during exercise

It was expected that the pneumotachogram of horses with obstructive pulmonary disease would show flow limitations more clearly under exercise load. In 21 tests with 13 horses ECG and respiratory air flow were transmitted telemetrically. The horses were distributed into three groups: group I - four healthy horses, group II - five horses with chronic bronchitis, group III - four horses with chronic bronchitis and pulmonary emphysema. The horses were tested at rest and under load (5 min walk, 5 min trot, 5 min gallop) at a longe without rider. With special computer programs the following parameters were found for every inspiration and expiration out of the flow values stored on magnetic tape: respiratory time, tidal volume, air flow after a fixed time and flow-maximum and its position in the half-cycle. The steady-state-values of respiratory frequency, respiratory time quotient and average respiratory flow were calculated for every load-step.

Because of their reduced capacity of work, the horses of the groups II and III had higher heart rates than the control group at all gaits. Furthermore the diseased horses had lower respiratory frequencies and higher tidal volumes and inspiratory flow velocities. The respiratory time quotient (TE/TI) was negatively correlated with respiratory frequency; in bronchitic horses (group II) it was lower than in the other both groups at all respiratory frequencies. The groups could also be differentiated by plotting tidal volume contra inspiratory time and respiratory time contra respiratory air flow. So measuring of the pneumotachogram under exercise load can deliver important findings for the diagnosis.

VII.LITERATURVERZEICHNIS

- (1) Bödecker, W. (1911)
Über Atembewegungen bei gesunden und kranken Pferden
Vet.med.Diss., Hannover
- (2) Bouhuys, A. (1977)
The physiology of breathing
Grune & Stratton, New York
- (3) Breeze, R.G. (1979)
The problem of disease definition
Vet.Clin.North Am.: Large An.Prac. 1, 219-230
- (4) Bradley, G.W. and Crawford, R. (1976)
Regulation of breathing during exercise in normal subjects and in chronic lung disease
Cli.Sci.Molec.Med. 51, 575-582
- (5) Cherniack, R.M. (1979)
Lungenfunktionsprüfung
Schattauer Verl., Stuttgart
- (6) Cook, W.R. and Rosedale, P.D. (1963)
The syndrome of 'Broken Wind' in the horse
Proc.Roy.Soc.Med. 56, 972-977
- (7) Derksen, F.J., Robinson, N.E., Armstrong, P.J., Stick, J.A. and Slocombe, R.F. (1985)
Airway reactivity in ponies with recurrent airway obstruction (Heaves)
J.Appl.Physiol. 58, 598-604
- (8) Ehrlein, H.-J. (1970)
Untersuchungen über die Herzschlagfrequenz als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden
Habilitationsschrift, Hannover
- (9) Fleisch, A. (1925)
Der Pneumotachograph, ein Apparat zur Geschwindigkeitsmessung der Atemluft
Pflügers Arch.Ges.Physiol. 209, 713-722

- (10) Furukawa, R. (1972)
Lungenfunktionsprüfungen bei Ponys mit und ohne
Lungenaffektionen
Vet.med.Diss., Zürich
- (11) Gerber, H. (1968)
Klinik und Therapie chronischer Lungenleiden des
Pferdes
Dtsch.Tierärztl.Wochenschr. 9, 234-239
- (12) Gillespie, J.R., Tyler, W.S., Eberly, V.E. (1966)
Pulmonary ventilation and resistance in emphysematous
and control horses
J.Appl.Physiol. 21, 416-422
- (13) Gillespie, J.R. and Tyler, W.S. (1969)
Chronic alveolar emphysema in the horse
Adv.Vet.Sci.Comp.Med. 13, 59-99
- (14) Gillespie, J.R. (1974)
The role of the respiratory system during exertion
J.South Afr.Vet.Assoc. 45, 305-309
- (15) Hörnicke, H., Ehrlein, H.-J., Tolkmitt, G., Husch, H., Nagel, M.,
Decker, D., Eppler, E., Kimmich, H.P. and Kreuzer, F. (1974)
Respiratory telemetry in exercising horses
in: Biotelemetry II, Ed.: Neukomm, P.A., Karger, Basel,
146-148
- (16) Hörnicke, H. and Meixner, R. (1977)
Depth and frequency of breathing in exercising horses
Proc.Int.Union Physiol.Sci. 13, 332
- (17) Hörnicke, H., Meixner, R. and Pollmann, U. (1983)
Respiration in exercising horses
in: Equine Exercise Physiol., Burlington Press, 7-16
- (18) Jones, H.L. and Berman, L.B. (1984)
Gas exchange in chronic air-flow obstruction
Am.Rev.Resp.Dis. 129, 81-83
- (19) Lowell, F.C. (1964)
Observations on heaves. An asthma-like syndrome in
the horse
J.Allergy 35, 322-330

- (20) Kay, J.D.S., Petersen, E.S. and Vejby-Christensen, H. (1974)
Breath-by-breath breathing pattern in man during
steady-state bicycle exercise
J. Physiol. 244, 52-53
- (21) Kimmich, H.P. and Spaan, J.G. (1980)
Combined flow and PO₂ sensors for telemetric assess-
ment of oxygen uptake in horses
in: Biotelemetry V, Eds.: Matsumoto, G. and Kimmich,
H.P., Matsumoto, Hokkaido, 165-168
- (22) McNeill, R.S., Malcolm, G.D. and Rhind Brown, W. (1959)
A comparison of expiratory and inspiratory flow rates
in health and in chronic pulmonary disease
Thorax 14, 225-231
- (23) Muylle, E. and Oyaert, W. (1973)
Lung function tests in obstructive pulmonary disease
in horses
Equine Vet. J. 5, 37-44
- (24) Sasse, H.H.L. (1973)
Lungenfunktionsprüfung beim Pferd
Tierärztl. Praxis 1, 49-59
- (25) Sasse, H.H.L. (1980)
Der Einfluß von Ventipulmin^R auf die Lungenfunktions-
untersuchungen beim Pferd
Vortrag b. Ventipulminsymposium d. Fa. Boehringer,
Ingelheim
- (26) Schatzmann, U. und Gerber, H. (1971)
Untersuchungen zur Ätiologie chronischer Lungenkrank-
heiten des Pferdes
Zbl. Vet. Med. 19, 7-19
- (27) Spörri, H. und Leemann, W. (1964)
Zur Untersuchung der Lungenmechanik bei Großtieren
Schweiz. Arch. Tierheilk. 106, 699-714
- (28) Spörri, H. und Denac, M. (1967)
Lungenfunktionsprüfungen bei Großtieren
Schweiz. Arch. Tierheilk. 109, 252-259

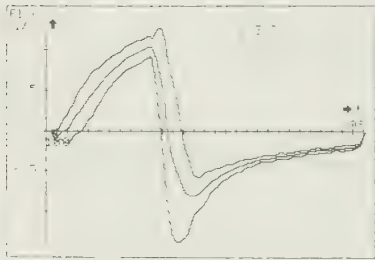
- (29) Spörri, H. (1971)
Zur Typendifferenzierung des Lungenemphysems
Kongressber.: First Meeting of Assoc. of Vet. Med. Spec.
of Large Domestic Animals, 42-48
- (30) Stadler, P. (1983)
Tagesschwankungen der Atemmechanik beim gesunden
und chronisch lungenkranken Pferd
Vet. med. Diss., Hannover
- (31) Wetli, U. (1972)
Vergleichende Untersuchungen bei lungenkranken Pferden
Vet. med. Diss., Zürich
- (32) Willoughby, D. V. M. and McDonell, W. N. (1979)
Pulmonary function testing in horses
Vet. Clin. North Am.: Large Animal Prac. 1, 171-196

TAB 17 Beziehung AZQ-AF aus Einzelatemenzügen

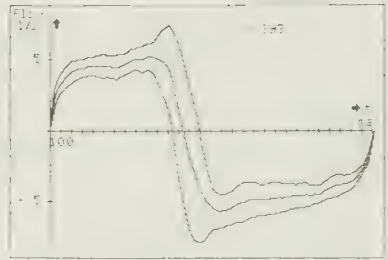
V	St				Schr				Tr				Gal			
	B(O)	B(1)	r	S.	B(O)	B(1)	r	S.	B(O)	B(1)	r	S.	B(O)	B(1)	r	S.
Gr I	367	66.5	1.4	0.04 n.s	55.0	23.0	0.44 n.s		98.9	21.8	0.32 n.s		106.0	13.7	0.19 n.s	
	373	16.7	-2.8	-0.76 **	44.3	18.0	0.41 n.s		107.7	-14.2	-0.17 n.s		177.1	-53.2	-0.49 n.s	
	375	12.7	-3.0	-0.61 *	27.6	-7.3	-0.61 *		45.1	-4.5	-0.07 n.s		103.7	2.7	0.07 n.s	
	377	27.7	1.6	0.06 n.s	60.7	-6.1	-0.12 n.s		90.1	-0.8	-0.01 n.s		133.9	-13.4	-0.10 n.s	
	380	28.2	-1.9	-0.19 n.s	85.0	-22.7	-0.43 n.s		53.2	38.0	0.53 n.s		119.3	-5.3	-0.04 n.s	
	378	20.3	0.5	0.04 n.s	36.9	0.0	0.60 *		66.4	-7.5	-0.12 n.s		11.5	81.6	0.92 ***	
	382	29.9	1.4	0.09 n.s	37.7	3.4	0.09 n.s		57.6	4.9	0.06 n.s		85.7	22.7	0.67 *	
Gr II	370	18.9	-4.8	-0.86 ***	3.3	30.5	0.64 *		91.3	-4.8	-0.06 n.s		42.0	78.1	0.76 **	
	390	13.0	7.3	0.60 n.s	32.4	5.0	0.09 n.s		92.6	-23.0	-0.27 n.s		-	-	-	
	394	10.7	4.2	0.66 *	19.2	20.7	0.67 *		38.0	7.6	0.24 n.s		-	-	-	
	391	25.9	-3.2	-0.36 n.s	32.2	8.7	0.43 n.s		128.4	-41.3	-0.66 *		-	-	-	
	435	45.3	-7.2	-0.38 n.s	70.1	-5.6	-0.15 n.s		71.8	11.5	0.32 n.s		90.4	21.3	0.42 n.s	
	437	41.6	-5.2	-0.50 n.s	70.4	-8.9	-0.20 n.s		35.0	53.7	0.82 **		-	-	-	
	392	31.8	-4.3	-0.14 n.s	26.1	15.6	0.56 n.s		37.1	32.7	0.47 n.s		-	-	-	
Gr III	387	29.5	-3.6	-0.66 *	49.6	-11.3	-0.93 ***		54.9	7.6	0.17 n.s		91.2	-11.3	-0.30 n.s	
	393	28.1	-6.3	-0.87 ***	46.4	-12.0	-0.56 n.s		104.9	-27.9	-0.65 *		74.6	33.9	0.54 n.s	
	388	33.6	-3.2	-0.27 n.s	47.4	-6.3	-0.41 n.s		56.9	0.4	0.02 n.s		-	-	-	
	389	-	-	- n.s	44.8	-5.8	-0.48 n.s		59.6	-3.9	-0.31 n.s		-	-	- n.s.	
	381	9.8	13.9	0.56 n.s	56.3	1.0	0.03 n.s		60.8	23.7	0.20 n.s		73.5	26.3	0.68 *	
	399	29.5	-5.1	-0.46 n.s	62.0	-6.0	-0.11 n.s		73.0	16.1	0.42 n.s		84.2	27.2	0.75 **	
	436	29.3	19.8	0.61 *	72.5	-0.5	-0.01 n.s		12.0	71.6	0.89 **		-	-	-	

TAB 18 ms-Wert der Maximalströmung (ms)

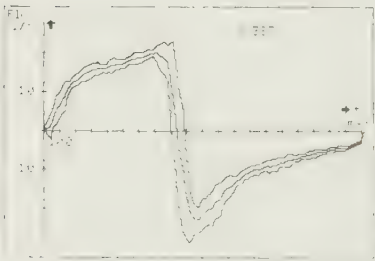
Pferd	V	St		Schr		Tr		Gal		Tr'		Schr'	
		I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E
Gr I	A1.1	367	659	180	122	135	83	95	102	76	-	-	-
	A1.2	373	1244	328	229	172	169	133	146	50	-	-	-
	A1.3	375	1713	781	994	499	336	204	115	148	-	-	-
	A1.4	378	824	251	262	222	220	184	101	122	89	190	131
		382	526	275	335	182	196	190	99	156	123	157	149
	$\bar{x}$		845	314	352	210	193	154	116	102	163	146	174
	s		471	213	290	132	77	39	19	41	79	52	26
	VK		56	68	83	63	40	27	16	40	49	36	15
Gr II	B1.1	370	955	355	231	314	194	129	134	121	-	-	-
	B1.2	390	1001	355	368	292	226	107	-	-	-	177	122
	B1.3	394	1401	331	319	228	231	225	-	-	-	224	175
	B1.4	435	332	182	188	129	165	157	150	110	141	90	176
	B1.5	392	437	576	187	198	137	167	-	-	-	-	-
			503	248	371	176	182	191	-	-	-	284	195
	$\bar{x}$		807	259	291	205	191	156	142	116	141	90	212
	s		363	87	83	74	33	43	-	-	-	45	36
	VK		45	34	29	36	17	27	-	-	-	21	24
Gr III	C1.1	387	851	83	642	82	216	77	217	107	232	88	337
	C1.2	393	825	390	564	242	159	138	137	94	134	153	188
		388	-	-	479	66	279	73	-	-	-	323	75
	C1.3	381	475	192	273	178	216	172	116	143	142	200	148
	C1.4	399	619	191	202	154	191	145	118	94	204	128	197
		436	279	123	221	117	226	94	-	-	-	256	103
	$\bar{x}$		610	196	416	133	220	114	147	110	178	128	250
	s		241	118	180	62	39	38	48	23	48	29	66
	VK		40	60	43	47	18	33	32	21	27	22	31
Signifikanz													
X Gr I : X Gr II		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-	-	n.s.
X Gr I : X Gr III		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
X Gr II : X Gr III		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	-	-	-	-	n.s.



St



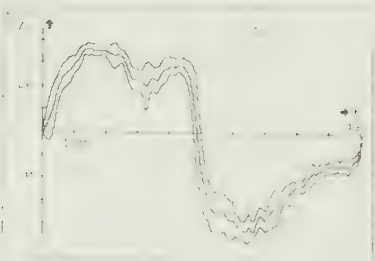
St



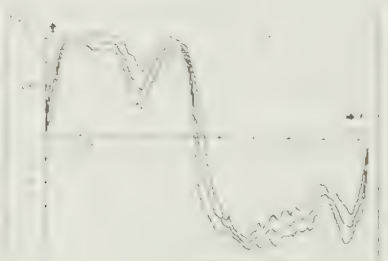
Schr



Schr



Tr



Tr

Abb.24 Zwei unterschiedliche Typen der Atemform bei einem Pferd mit Lungenemphysem (Keine Behandlung zwischen den Versuchen)

Lebenslauf

Ich, Ursula Pollmann, wurde am 5. Juli 1953 in Karlsruhe als erstes Kind der Eheleute Rudolf Pollmann, Forstbeamter, und Lore Pollmann geb. Pfisterer, Hausfrau, geboren.

Meine Staatsangehörigkeit ist deutsch.

Von 1960-1964 besuchte ich die Grundschule und von 1964-1973 das Gymnasium (Eichendorff-Gymnasium Ettlingen). Mit dem Wintersemester 1973/74 begann ich an der Universität Hohenheim mein Biologiestudium, das ich 1979 mit dem Diplom abschloß. Für das Wintersemester 1979/80 erhielt ich die Zulassung für ein Zweitstudium der Tiermedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Dieses Studium schloß ich 1983 mit dem Staatsexamen ab. Im Anschluß daran ging ich zur Anfertigung meiner Doktorarbeit zurück nach Hohenheim. Von Juli 1984 bis Mai 1985 war ich Assistentin in einer Kleintierpraxis bei Koblenz. Von Juli 1985 bis März 1986 war ich Assistentin in einer Gemischtpraxis bei Speyer.

Danksagung

Bei Herrn Prof.Dr.H.Hörnigke möchte ich mich hiermit für die Überlassung des Themas sowie für die Betreuung und unermüdliche Beratung bedanken. Bei Herrn Prof.Dr.H.Kraft bedanke ich mich für die Übernahme der Verantwortung für diese Arbeit an der Universität München sowie für wertvolle Hinweise.

Für die Konstruktion und die Überlassung des Meßrohres gilt auch mein besonderer Dank Herrn Dr.H.P.Kimmich.

Für die Auswahl und Bereitstellung der Versuchspferde bedanke ich mich bei Herrn Dr.H.Hurtienne.

Weiterhin möchte ich mich für die Unterstützung bei den praktischen Ausführungen bei den Herren G.Tolkmitt, W.Schweiker und H.Fleischmann bedanken.

